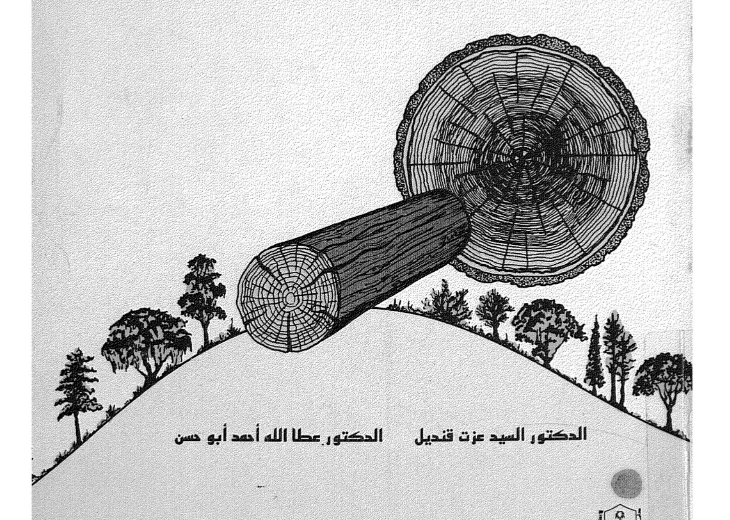
تقنية الأخشاب



الدكتور السيد عزت قنديل   الدكتور عطا الله أحمد أبو حسن

جامعة الملك سعود
عمادة شؤون المكتبات



ٱلَّذِى جَعَلَ لَكُم مِّنَ ٱلشَّجَرِ ٱلْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَآ أَنتُم
مِّنْهُ تُوقِدُونَ ﴿٨٠﴾ أَوَلَيْسَ ٱلَّذِى خَلَقَ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضَ
بِقَٰدِرٍ عَلَىٰٓ أَن يَخْلُقَ مِثْلَهُم ۚ بَلَىٰ وَهُوَ ٱلْخَلَّٰقُ ٱلْعَلِيمُ ﴿٨١﴾
إِنَّمَآ أَمْرُهُۥٓ إِذَآ أَرَادَ شَيْـًٔا أَن يَقُولَ لَهُۥ كُن فَيَكُونُ ﴿٨٢﴾
فَسُبْحَٰنَ ٱلَّذِى بِيَدِهِۦ مَلَكُوتُ كُلِّ شَىْءٍ وَإِلَيْهِ تُرْجَعُونَ ﴿٨٣﴾

تقنيـــة الأخشـــاب

تأليــف

الدكتور السيد عزت قنديل — الدكتور عطا الله أحمد أبو حسن

أستاذ تكنولوجيا الأخشاب (سابقًا) — أستاذ الغابـــات (سابقًا)

كلية الزراعة ـ جامعة الملك سعود



الناشر: عمادة شؤون المكتبـات ـ جامعـة الملك سعـود

ص. ب ٢٢٤٨٠ ـ الرياض ١١٤٩٥ ـ المملكة العربية السعودية

الطبعة الأولى ١٤١٣هـ (١٩٩٣م).

٦٧٤,١

ق س ت تقنية الأخشاب/ تأليف السيد عزت
قنديل؛ عطاالله أحمد أبو حسن
الرياض ـ جامعة الملك سعود ـ كلية الزراعة
١ ـ الأخشاب، ٢ ـ الأخشاب صناعة وتجارة
ا ـ أبو حسن، عطاالله أحمد، مشارك ب ـ العنوان

تم تحكيم الكتاب بواسطة لجنة متخصصة شُكلت بناءً على قرار المجلس العلمي في اجتماعه الثالث عشر للعام الدراسي ١٤٠٦/١٤٠٧هـ المعقود في ١٧/٦/١٤٠٧هـ الموافق ١٥/٢/١٩٨٧م

مطابع جامعة الملك سعود ١٤١٣هـ

تقديم

يسعدني أن أقدم للمكتبة العربية هذا المؤلف الحديث عن «تقنية الأخشاب» الذي يتناول بأصالة وعمق ذلك المجال المهم من علوم الغابات والأخشاب، وهي المادة الخام التي يمكن تجديدها كلما نضب معينها.

إن الإدارة الحديثة لمجاميع الغابات والأشجار في العالم تعطي عائدًا سنويًا من نواتج عمليات القطع المتوسطة والخفيفة وغيرها يسمح بإنتاج خشبي لا يمكن إهداره، ويتطلب الاستغلال الصناعي الأمثل له إلمامًا كبيرًا بالخواص الفيزيقية والكيميائية لتلك المادة الخام.

والواقع أن المكتبة العربية في مسيس الحاجة إلى مثل هذا المرجع القيم الذي يتيح للباحث العربي خلاصة آخر ما توصلت إليه بحوث العلماء في العالم، مما يثري المكتبة العربية بهذه النوعية من المؤلفات التقنية الحديثة، ويدعم أصالة البحث العلمي العربي الحديث.

وفقنا الله إلى رفعة الوطن والمسلمين. . .

وعلى الله قصد السبيل وهو ولينا . . . ونعم المولى ونعم النصير.

دكتور عثمان عدلي بدران

أستاذ علم الغابات والأخشاب المتفرغ

جامعة الإسكندرية

المحتويات

صفحة

مقدمـــة

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله، والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء وسيد المرسلين.. وبعد:

فقد وفقنا الله إلى أن نقدم هذا المرجع للمكتبة العربية متناولاً تكنولوجيا الأخشاب وفروعها الأساسية؛ لما لهذا الموضوع من أهمية قصوى لكل من يعمل في استغلال الموارد الشجرية، والغابات التي تغطي ثلث مساحة اليابسة وتشمل في الوطن العربي مساحة تقدر بحوالي ٩١٫١٥٨ مليون هكتار[١].

وهذا المرجع يتناول الأخشاب تلك المادة الخام التي يمكن تجديدها كلما نضب معينها والتي تتزايد أهميتها الاقتصادية في هذا القرن، حيث يبلغ الاستهلاك السنوي من الأخشاب المستديرة فقط فيها حوالي ٢٦٠٠ مليون متر مكعب[٢]. ويتوقع أن ترفع كمية استهلاكها ليصل ما بين ٣٨٠٠ إلى ٦٨٠٠ مليون متر مكعب خلال أربعة عشر عامًا[٣].

---

(١) FAO, *Forest Resources in the Integral Development of Society*. (Rome: Statistics Published for the International Year of the Forest, 1985).

(٢) H. Steinlin, Die Holzproduktion der Welt, Okonom., Aspekte. In: Plochmann, R. and H. Loffler, Eds. *Holz Als Rohstoff in der Weltwirtschaft*. (Landwirtschaftsver-lag, Munster-Hiltrup. 1979), pp. 14-44.

(٣) FAO, 1982. *Yearbook of the Forest Products*. (1971-1982. Rome: FAO, 1982), p.408.

ومع ضخامة كميات المتوقع استهلاكه تظهر الدراسات إمكانية مجابهة هذا عن طريق التحكم في النمو السنوي للأشجار الذي يصل إلى ٧٠٠٠ مليون متر مكعب في الفترة نفسها[٤]. وقد وجد أن شجرة الصنوبريات الواحدة تنتج يوميًا ٢٧,٧ جرام من المادة الخشبية منها ١٣,٧ جرام سيليولوز، ٨,٢ جرام لجنين، ٦,٥ جرام بوليوزس، ٠,٣ جرام مستخلصات خشبية[٥].

مما تقدم يتضح أن الدراسات العلمية للأسس التكنولوجية لنمو الأشجار، وتكوين الأخشاب، وطبيعة هذه المادة الخام الكيميائية والفيزيائية وسلوكها الميكانيكي هي الدعامة التي ترتكز عليها تكنولوجيا تصنيع هذه المنتجات. ومن هنا كانت ضرورة الدراسات التي يضمها هذا المؤلف الذي يقدم لهذه الموضوعات، ويعد إضافة للمكتبة العربية في مجاله، نرجو أن تكون موفقة، والمرجع الحالي يبدأ في بابه الأول بتناول الأسس العامة للنمو الشجري، وفسيولوجيا تكوين الأخشاب بالأشجار بصورة مركزة تعد أكثر شمولاً مما قد كتب عنها في المكتبة العربية من قبل، بحيث يمهد هذا الباب للدخول في صلب موضوعات تكنولوجيا الأخشاب من حيث أسسها العلمية الحديثة، وكيفية الربط بينها وبين السلوك المتوقع لهذه المادة الخام ذات القيمة الاقتصادية.

ونحن إذ نقدم مؤلفنا هذا نود أن نشكر جميع الزملاء بقسم الإنتاج النباتي بكلية الزراعة بجامعة الملك سعود من الذين تفضلوا بالمساعدة وتقديم العون خلال مراحل إعداد وطبع هذا الكتاب.

والله نسأل أن نكون قد وفقنا في تقديم مرجع حديث إلى المكتبة العربية ليكون عونًا لكل باحث أو عالم في هذا المجال من العلوم التكنولوجية المتطورة.

المؤلفــــان

---

(٤) D. Fengel, and G. Wegner, *Wood; Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. (New York: Walter de Gruyter, 1984), p. 613.

(٥) W. Sandermann, (Holz., Roh-Werkst. 1973), p. 31,11.

نمو الأشجار وتكوين الأخشاب وصفاتها العامة

● نمـو الأشجار ● تكوين الأخشاب بالأشجار ● حلقـات النمـو السنـويـة ● الخشب المبكـر والخشب المتـأخـر ● الخشب الحـديث والخشب النـاضـج ● خشب العصـارة وخشب القلب ● لون ولمعـان الأخشـاب ورائحتهـا ● قوام الأخشاب وترتيبها ● المراجـع

نمـو الأشجـار Tree Growth

إن جسم النبات الوعائي يتمركز حول محور أسطواني عليه نموات جانبية. هذا المحور الأسطواني مكون من الساق (trunk) والجذر (root) وينتج الساق أو الجذع الأخشاب المعروفة تجاريًا عندما يصل إلى مرحلة من النضج (maturity) تسمح بذلك.

ويتكون محور الأشجار أي الساق من مركز يتضمن النسيج الأساسي الموصل للعصـارة، وهـو خشبي التكـوين (xylem) . هذا ويمـر الساق بعمليات من النمو والأنقسـام تؤدي إلى نمـوه. ويعـزى النمـو الـطولي للأشجـار إلى النمو الابتدائي (primary) عند نقط النمو القمي (apical growing points) أما النمو القطري فهو راجع إلى نشاط الكامبيوم الوعائي (vascular cambium) وهو تلك الطبقة النامية الموجودة بين اللحـاء (phloem) والخشب (xylem) ، والنمـو في هذا الكـامبيوم يؤدي إلى التغليظ الثانوي (secondary thickening) .

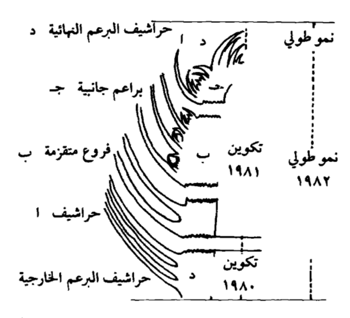
الأنسجة المرستيمية والأنسجة الدائمة بالأشجار

تعد الخلية النباتية هي الوحدة البنائية للنسيج الخشبي، والأنسجة إما مرستيمية (meristematic) وإما دائمة (permanent) .

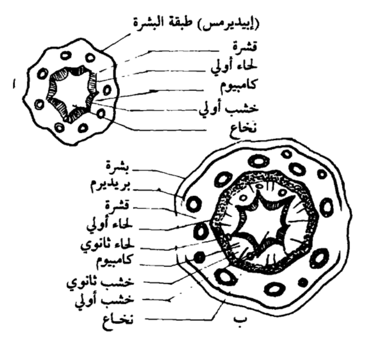
والأنسجة المرستيمية هي التي تدخل في عمليات تكوين الخلايا، أما الأنسجة الدائمة فهي التي تكشفت وأصبحت متوقفة أو محدودة النمو، وإن كان هذا لا يمنع من احتوائها على أجزاء قد تصبح مرستيمية عند الضرورة كما في حالة الكامبيوم الفليني.

والخلايا المرستيمية نفسها تنقسم إلى مرستيمية قمية (apical) ومرستيمية ثانوية (meristematic) والمرستيمات القمية يُعزى إليها النمو القمي، والنقط الطرفية فيها تسمى المرستيمات الأولية (promeristems) .

هذا وفي حالة النباتات الأولية فإن خلية واحدة قد تُكون هذه المنطقة الطرفية للمرستيم، أما في حالة النباتات الراقية كالأشجار فإنها تكون طبقة (layer) من خلايا عديدة. هذا ويلاحظ تميز واضح في تلك الطبقات في مغطاة البذور (angiosperms) مما أدى إلى نشوء نظرية القشرة والبدن (tunica-corpus theory) التي تتلخص في أن نشوء الخلايا بالقمة النامية يتمركز في مجموعة البدن (corpus) تحيط بها طبقة أو أكثر من الخلايا هي tunica ، ويلاحظ في الأشجار ذات الأخشاب الصلدة (hardwoods) أن القشرة (tunica) طبقتان من الخلايا أما في المخروطيات (softwoods) أي conifers فإنه لا يوجد بها ترتيب واضح إلى قشرة وبدن (tunica & corpus) في الأنسجة بهذا الشكل (شكل ١) والخلايا المتكونة في القمة النامية تدخل في تغيرات بالشكل والحجم بعد ذلك فيما عدا القلة منها التي تظل محتفظة بخواصها المرستيمية (شكل ٢)، وخلال خطوات التكشف والانقسام والنمو التي تسلكها الخلايا تتكون طبقات خلايا النسيج في الساق فتصبح من الخارج طبقة البشرة يليها إلى الداخل طبقة البريدرم (periderm) ثم القشرة (cortex) ، فطبقة اللحاء الأولي فالثانوي، ثم الكامبيوم الوعائي، فالخشب



شكل ١ . تخطيط لقطاع في برعم الصنوبر محتوٍ على التراكيب اللازمة لموسم النمو التالي ومظهر القمة النامية . (عن Larson, 1969)



شكل ٢ . تخطيط لقطاع في ساق حديث من الصنوبر (عن Larson, 1969)

ا ـ قرب القمة النامية .

ب ـ عند نهاية موسم النمو.

الثانوي، ثم الخشب الأولى مضغوطًا إلى الداخل، يليه بمركز الساق الحديث يوجد نسيج النخاع.

الكامبيوم الوعائــي Vascular Cambium

الكـامبيوم الـوعـائي (vascular) أو الحـزمي هو المسؤول عن النمـو المحيطي والقطري بالنباتات الخشبية. هذا ويتكون الكامبيوم الوعائي من نوعية من البدايات الخلوية (cambial initials)، هما بداية الأشعة (ray initials)، وبداية الفيوزيفورمية (fusiform initials) وهي التي تنقسم لتعطي الخلايا المنتظمة طوليًا بالخشب واللحاء عن طريق الانقسام مماسيًا (شكل ٣).

شكل ٣. انقسام خلايا الكاميوم تخطيطًا (ك) تنقسم لتعطي لحاء (ل) وخشب (ش) ناضج، ش ا - ش ب، ش، خلايا أبنية خشبية. (عن بدران وقنديل، ١٩٧٩م).

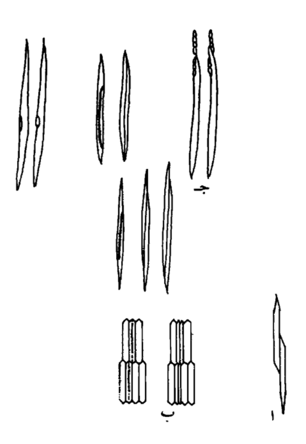
وفي كل مرة ينقسم الكـامبيوم الأولي الأمي (mother cell) ليعـطي خليتـين إحداهما تصير خلية أمية لحائية أو خشبية، والأخرى تظل خلية أمية كامبيومية مرستيمية لها القدرة على معاودة الانقسام مرة أخرى وهكذا.

أما الخلية الآمية اللحائية (أو الخشبية) فهي إما أن تمر بمراحل التكشف والنضج وإما أن تدخل في عمليات انقسام لتكون خلايا من نوعها نفسه ولذلك فإن هناك دائمًا منطقة من النمو النشط حول الكامبيوم بالأشجار لا يمكن تمييزها إلى خلايا أمية أو لحائية أو خشبية وهذه المنطقة تعرف بأسم منطقة كامبيومية (cambial region) هذا والبوادىء الخلوية الفيوزفورمية لها شكل مغزلي مستطيل مدبب الطرفين وتتباين في الطول وتتداخل في الترتيب فوق بعضها في المخروطيات أما في الأشجار ذات الأخشاب الصلدة (الأكثر تخصصًا) فهي أقصر نوعًا ومنتظمة في الشكل والترتيب. هذا ومع زيادة عمر الأشجار يزيد عمر البوادىء الكامبيومية الفيوزيفورمية أو المغزلية حتى تصل إلى مرحلة النضج عند عمر يتراوح بين ٣٠-٦٠ سنة في الأشجار ذات الأخشاب الصلدة وعند ذلك تتوقف في نموها الطولي أما في حالة المخروطيات فيزيد طولها أربعة أضعاف خلال الأربعين سنة الأولى من عمر الأشجار، هذا بالإضافة إلى تأثر طول هذه البوادىء بالظروف البيئية والنموية التي تمر بها الأشجار.

هذا والنوع الآخر من البوادىء، وهو المعروف باسم بوادىء الأشعة، (ray initials) يُعطى أساسًا عند تكشفها الأشعة الخشبية، وتتباين بدرجة متفاوتة في حجمها، وتتميز بقصرها.

نمو البوادىء المغزلية Growth of Fusiform Initials

هناك عديد من التفسيرات لنمو الأشجار في منطقة الكامبيوم، وأكثرها تأكيدًا فرضي Baily بأن النمو المحيطي للكامبيوم هو المسؤول عن النمو القطري في الأشجار، ويحدث نتيجة لزيادة في القطر المماسي للبوادىء الفيوزيفورمية وانقسامها، أي زيادة عددها بالإضافة إلى زيادة طولها وزيادة عدد وقطر البوادىء الشعاعية وقد بين Baily أن كلاً من هذه العوامل الخمسة يؤثر على النمو المحيطي في الكامبيوم، وإن كان أهم هذه العوامل هو الزيادة في عدد البوادىء الفيوزيفورمية والشعاعية. هذا ويوضح شكل ٤ كيفية انقسام البوادىء الفيوزيفورمية أو المغزلية في الكامبيوم، سواء كان من النوع غير المرتب (nonstratified) أم من النوع المرتب الموجود في الأشجار ذات الأخشاب الصلدة الأكثر تطورًا (شكل ٤).



شكل ٤ . انقسامات البوادىء المغزلية .
ا ـ في الكامبيوم غير المرتب . ب ـ في المرتب . جـ ـ تكوين الأشعة .

ويتوقف استمرار حياة البوادىء الجديدة على مدى طولها ومدى اتصالها بالأشعة الخشبية (wood rays) وعـادة يستمـر عمل البوادىء الطويلة (long initials) كخلايا مرستيمية أما القصيرة فتتحول إلى بوادىء أشعة .

هذا وبقـاء البوادىء منتظمة الطول الواحد هو الضمان لاستمرار الشجرة في إعطاء ألياف ذات أطوال واحدة مع الأخذ في الاعتبار بأن موسم النمو وعمر البوادىء يؤثران مباشرة على طولها الأولي .

نمـو البوادىء الشعاعية Growth of Rayinitials

تنشـأ معـظم بوادىء الأشعـة خلال عمليات تحول البـوادىء الفيوزيفورمية القصيرة إلى بوادىء أشعة، وتستمر هذه البوادىء في نموها بعد زمن لتعطي الأشعة الخشبية (ray initials) .

نمو البوادىء بالكامبيوم وتكشفها

إن نمـو البـوادىء بعد تكشفها في الكامبيوم يشمل عدة مراحل تتضمن كبر الحجم الخلوي (cell enlargement) ثم التغليظ (thickening) ثم النضج (maturity) هذا والخـلايا المتكشفـة يوجد بها جدار أولي يحوي مكوناتها البروتوبلازمية، كما أنها تنفصـل عن الخلايا المجاورة لها بطبقة الصفيحة الوسطى (middle lamella) . هذا ويبدأ أول أطوار كبر الحجم (cell enlargement) بزيادة القطر وهذه تبدو واضحة في الخشب المبكر أو الربيعي (early wood or spring wood) الذي يتم أساسًا في الاتجاه القطري في المخروطيات بعكس الأشجار ذات الأخشاب الصلدة حيث تكون الزيادة في الاتجاهين المماسي والقطري، وهذا واضح في الأوعية في الأخشاب المسامية الحلقية، وقبل نهاية طور الكبر الحجمي تدخل الخلية في طور الاستطالة، ونسبة هذه الزيادة في المخروطيات حوالي ٢٥-٣٠ مرة قدر الخلايا الأمية، أما في الأشجار ذات الأخشاب الصلدة فتكون الزيادة من ٤ إلى ٥ مرات ومما سبق يظهر أن القطر المماسي للخلايا الخشبية يرتبط تمامًا بالقطر المماسي للخلايا الكامبيومية الأمية (إلاَّ في حالة الأوعية في الأشجار ذات الأخشاب الصلدة) وبالنسبة للزيادة الطولية في النمو لمكونات الخشب هناك عدة نظريات تشرحها، إحداها نظرية intrusive growth وهي تفترض أن مقدمة قمة الخلية الخشبية تشق طريقها بين الخلايا المجاورة وهناك ما يؤكد أن النمو الطولي يتم من خلال نمـو سطحي مركزي بالجدار الخلوي الابتدائي (primary wall) عند الأطراف المتقدمة للخلايا النامية طوليًا كما تتم الزيادة في المساحة السطحية للخلايا الخشبية وجدارها الابتدائي بالتراكم (apposition) لمادة الجدار الخلوي، أو إضافة مواد بنـائية جديدة بين الميكروفبرلات (microfibrils) (انظر الباب الثاني) الموجود بالجدار الخلوي. أما تغليظ الخلايا ثم نضجها فتتم أطوارها بإضافة ميكروفبرلات جديدة على

الجزء الداخلي من الجدار الابتدائي ليتكون بهذا الجدار الثانوي (secondary wall) ومع هذا تبدأ بوادىء اللجنية (lignin precursors) في الانتشار من الكامبيوم وتتكشف بين الميكروفبرلات السليولوزية، ويتم النضج بالخلايا مع تمام لجننتها (lignification) .

نشاط الكامبيوم الوعائي يكون موسميًا

ينشط كامبيوم الأشجار النامية في المناطق المعتدلة في خلال فصل الربيع ويكون غير نشط خلال الشتاء، وهذا النشاط الكامبيومي يظهر جليًا في الانقسامات الخلوية بمنـطقـة الكامبيوم التي تبدأ بدورها بناء على إشارات هرمونية من البراعم المتكشفة والقمم النامية عن طريق إفراز هرمون الأوكسين (auxin) بهذه المناطق المتكشفة، ثم انتشـاره ووصـولـه إلى منـطقـة الكـامبيوم التي تبدأ في الانقسامات فور وصول هذه الإشـارات الهـرمونية إليها، وقد وجد كثير من الباحثين أن النشاط الكامبيومي يبدأ مباشرة في الساق في حالة المخروطيات والأخشاب الصلدة من المسامية المنتشرة (diffuse porous) أما في حالة الأشجار ذات الأخشاب الصلدة المسامية الحلقية (ring porous) فقـد لوحظ أن النشاط الكامبيومي يبدأ من أعلى قرب البراعم المتكشفة، ويمتد إلى أسفل بالسيقان الشجرية.

تكوين الأخشاب بالأشجار Wood Formation

إذا أخذ بتلخيص P. Larson, 1969 لخطوات تكوين الأخشاب في الأشجار فإنها تتكـون من أربـع خطوات تبـدأ بإيقاظ الكامبيوم من السكون، ثم انقسام بوادىء الكامبيوم والخلايا الأمية (mother cell) ثم تكشف مشتقات الكامبيوم ثم النضج (maturity) وفي حالة المخروطيات (والتي درست بتفصيل أكثر) فإنه يتميز خشب الربيع أو المبكر (spring wood) بالقصيبات المتسعة ذات الجدر الرقيقة، أما خشب الصيف أو المتأخر فيتميز بقصيبات ضيقة سميكة الجُدُر ويعتقد Larson أن قطر القصيبة المتكشفـة واتساعهـا تحكمهـا عوامـل فسيولوجيـة مختلفـة، فبينمـا يتحكـم حافـز هرمونـي (hormonal stimulus) في اتساع القصيبة فإن سمك جدارها يتحدد حسب كمية مادة التمثيل الضوئي المتراكمة (photosynthates) ويمكن أن يُعزى ذلك للحافز الهرموني

طبقًا لفروض Jost في أواخر القرن الماضي وقبل اكتشاف الأوكسين (auxin) بزمن طويل هذا وقد أوضح Larson هذا المفهوم بدقة باستخدام إندول حمض الخليك ((indole acetic acid (IAA) «الأوكسين المخلق صناعيًا» فوجد أن بإضافة الأوكسين إلى الصنوبر الأحمر (red pine) النامي في نهار قصير الذي كان يعطي قصيبات خشب متأخر صغيرة ضيقةً فإنه نتيجة إضافة IAA أعطت بادرات الصنوبر الأحمر المعاملة قصبات منسقة في حين أن المعاملة بمادة مضاد الأوكسين "2-3-5 tri-iodo benzoic acid (TIBA)" لبادرات صغيرة العمر نامية في نهار طويل فإن القصيبات التي نتجت عن هذه المعاملة كانت ضيقة كما وجد Larson أن تعريض الفروع إلى نهار طويل كونت زيادة نسبية في المواد الهرمونية المشجعة للنمو (growth promoting hormones) بصورة تتمشى مع كمية النمو في الأوراق الأبرية. هذا وقد ظهر من التجارب أن تدرج نسب الأوكسين يتمشى مع التدرج في قطر القصيبات، وبعدها عن الأوراق الأبرية، وقد تمكن كلا من Kennedy and Balenteez من الحصول على خشب مبكر في سيقان أشجار larix خلال إعطائها لخشب متأخر بمعاملتها بأوكسين مستخرج من لحاء نشط لشجرة نامية، وقد وجد أن تركيز الأوكسين (auxin) يتناسب طرديًا مع قطر القصيبات المتكونة بالأشجار.

هذا وقد وجد Larson أن سمك الجدار الخلوي يعد مستقلاً بدرجة كبيرة عن قطر القصيبات المتكونة (وهو الذي يتحدد بكمية الهرمون الذي يصل إليه) إذ إن سمك الجدار كان متوقفًا بدرجة كبيرة على كمية السكروز أو بأنواع التمثيل(photosynthate) الذي يصل للقصيبة المتكشفة. إلا أن هناك حالات من التداخل بين هذه العوامل بعضها مع بعض، خاصة في حالة الأطوار الأولى للنمو (development) بالخلايا القصيبية حيث يكون هناك تداخل ما بين تأثير الهرمون وتأثر السكروز نتيجة لعملية التمثيل خلال التكشف الأولى للجدار الثانوي، كما ذكر Larson فإن أكثر الصور شططًا لهذا التداخل هو ما يحدث في تكوين خشب الضغط (compression) في المخروطيات الذي يتكون في الجانب الأسفل من الجذوع المائلة حيث يتركز نسبة عالية من الأوكسين في هذا الجزء مكونًا خشب الضغط أو الانضغاط الذي يتميز بقصيبات

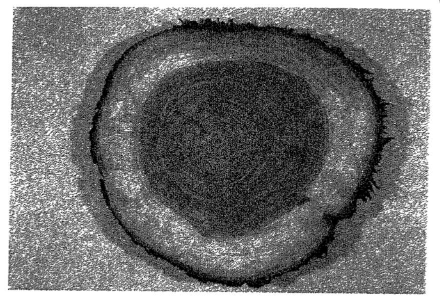
متسعة القطر سميكة الجدر في الوقت نفسه، وهي تماثل في اتساعها تلك القصيبات المتكونة في الخشب الحديث (juvenile) بسيقان المخروطيات أو المعاملة بتركيز عالٍ من الأوكسين. هذا وتعد نظرية Larson مبسطة لمفهوم تكوين الأخشاب بسيقان الأشجار، وإن كانت الحاجة ماسة إلى أبحاث عديدة، لكي تشرح كل العوامل المؤثرة على تكوين الأخشاب بالأشجار.

ويظهر من هذا أن كلاً من سمك الجدار الخلوي واتساع القصيبة يمكن تغيره بدون التأثير في الآخر أي أنهما ظاهرتان منفصلتان فسيولوجيًا، أي أن قصيبات الخشب المبكر رقيقة الجدر واسعة القطر تتكون عندما تسمح الظروف النموية للشجرة باتساع القصيبات من حيث توافر تركيزات عالية من الأوكسين في أول موسم النمو، في حين يكون زيادة التغليظ الثانوي متوافقة مع انتهاء فصل النمو، أو تكوين الخشب المتآخر في بدايته، وحسب فرض النظرية هذه فإن قطر القصيبة يتحدد بمدى بعدها عن مصدر الأوكسـين المفـرز بالشجـرة، ومع قرب نهاية موسم النمو فإن الانخفاض في اتساع القصيبات يحدث أولاً عند قاعدة الساق، ثم يتقدم إلى أعلى بالساق وخارجًا بالحلقات النموية حيث يتم تكوين خشب الصيف أو المتأخر ضيق القصيبات وهو الذي يتكون عندما تفصله ظروف النمو بالشجرة، وإذا أخذنا مفهوم Mork (1928) للخشب المتأخر على أنه الخشب الذي به عرض الجدار الخلوي بين قصيبتين متجاورتين مضروبًا في إثنين يساوي عرض الفجوة الخلوية (lumen) أو أكبر منه نلاحظ أن هذا المفهوم يفترض تغـيرًا تلقـائيًا في الاتساع، وسمك الجدار، ويربط بينهما، كما أنه لا يصلح في حالة الأخشاب ذات الانتقال الفجائي بين خشب الربيع وخشب الصيف، ولا يصلح مع الخشب الحديث أيضًا، وهنا نلحظ عدم وجود تعريض شامل لخشب الصيف المتآخر أو خشب الـربيع المبكر في ظل نظرية Larson لتكوين الأخشاب حيث إن الاتساع وسمـك الجـدار يختلفـان بطريقـة مستقلة بعضهـا عن بعض، وبهذا يظهر أن هذه التعريفات تعرفات وضعية فقط تفيد في دراسة ثوابت نوعية الأخشاب «quality».

هذا ونـلاحظ أيضًا أن ظروف النمو بالتاج الشجري تتحكم بدرجة كبيرة في تكوين الأخشاب بالساق، ومن الواضح أن تكشف مشتقات الكامبيوم يتوقف على عوامل متعددة داخل الشجرة.

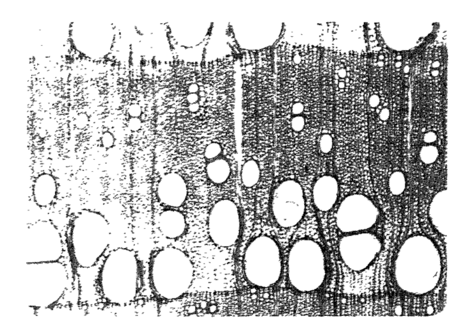
حلقـات النمـو السنويـة Annual Growth Rings

من المظاهر الواضحة في القطاع العرضي بسيقان الاشجار النامية في مناطق معتدلة وجود حلقات مركزية متتالية، ويرجع حدوث هذه الحلقات وتكوينها إلى النمو السنـوي في الأشجـار بتلك المنـاطق المعتدلة (شكل ٥) أما في المناطق المدارية فإن الحلقات النموية إذا وجدت فإنها تعبر عن فترات الجفاف وليس نشاط النمو السنوي المنتظم.

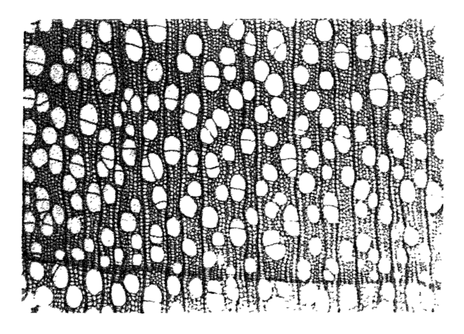


شكل ٥ . حلقات النمو السنوية وموقع خشب القلب قاتم اللون وخشب العصارة فاتح اللون في قطاع بأشجار العرعر النامية في جبال عسير بالمملكة العربية السعودية.

وتنشأ الحلقة النموية السنوية نتيجة لنشاط الكامبيوم الوعائي الذي يعطي سنويًا خشبًا إلى الداخل (خشب مبكر في أول موسم النمو، يليه خشب متأخر، أو خشب صيفي في نهاية فصل النمو) وفي الأشجار ذات الأخشاب الصلدة (hardwoods) توجد أنواع محدودة من توزيعات الأوعية الخشبية بالحلقات السنوية، فهناك المسامي الحلقي مثل البلوط *(Quercus rubre)* حيث تتباين بشدة اتساعات أوعية خشب الربيع عن الصيف (ring porous) (شكل ٦) وهناك المسامي المنتشرة حيث يكون اتساع الأوعية غير مميز بعـرض الحلقـة السنـوية (diffuse porous) كما في خشب الـزان (شكل ٧) أو

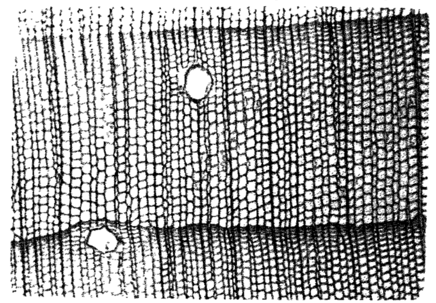


شكل ٦ . توزيع الأوعية في صالدات الأخشاب كما يظهر في الأخشاب المسامية الحلقية .



شكل ٧ . الأخشاب المسامية المنتشرة .

القيقب (Acer) وهناك نوع متباين هو الخشب نصف المسامي. أما بالنسبة للأخشاب المخروطيات فهناك أيضًا تباين في اتساع وسمك جدر القصيبات، وبهذا يكون هناك إما انتقال تدريجي بين خشب الربيع المبكر وخشب الصيف المتأخر (شكل ٨) وإما أن

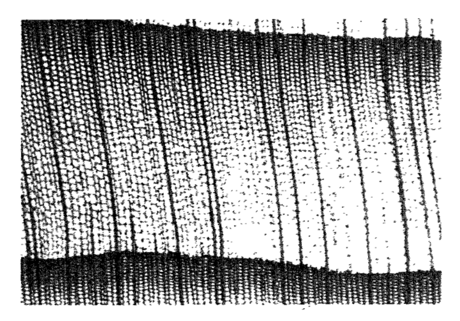


شكل ٨. الأنتقال بين خشب الربيع المبكر وخشب الصيف المتأخر في المخروطيات كما يظهر في الانتقال التدريجي.

يكون هناك انتقال فجائي (شكل ٩). هذا وتباين الحلقات السنوية في السمك حسب طبيعة وطول موسم النمو، وسمك الحلقة السنوية له علاقة مباشرة بكثافة الأخشاب المتكونة بالتالي (Desch, 1968).

الخشب المبكر والخشب المتأخر Earlywood and Latewood

في المناطق المعتدلة يكون هناك فترة نمو سريع في أوائل موسم النمو أو الربيع وفترة نمو بطيء في آخر موسم النمو، أو قرب الصيف، والآخشاب المتكونة في أول فصل النمو هي الأخشاب المبكرة، أو أخشاب الربيع والخشب المتكون في آخر موسم النمو هو الخشب المتأخر أو خشب الصيف. وتتكون حلقة النمو السنوية من كل منهما أي من خشب مبكر وخشب متأخر.



شكل ٩ . الانتقال الفجائي بين خشب الربيع وخشب الصيف بالمخروطيات .

ويتضح من سردنا لفسيولوجية تكوين الأخشاب (تكوين الأخشاب بالأشجار) أن خشب الربيع أو الخشب المبكر يتكون عندما تفضله ظروف النمو بالشجر من حيث النشاط الخضري بالتاج ، وبالتالي تكوين إفرازات هرمونية مثل الأوكسين بتركيز عال، وهذا يؤدي إلى إعطاء أقطار متسعة للقصيبات التي تتكشف مبكرًا في فصل النمو، وتكون جدرها أكثر رقة ؛ نظرًا لأن مادة التمثيل الضوئي لا تكون قد تراكمت بعد في أول موسم النمو، أما خشب الصيف أو المتأخر فإن ظروف النمو في آخر موسم النمو تفضله نتيجة إنخفاض النموات الخضرية الحديثة ، وبالتالي قلة تركيز الأوكسين ، وعلى ذلك يكون قطر قصيباته أضيق قليلاً كما أن نهاية موسم النمو يصاحبها تراكم في مواد التمثيل الضوئي (photosynthates) وبالتالي تكون الجدر أغلظ من الجدر المكونة في الخشب المبكر. وهكذا تتكون قصيبات الخشب المتأخر ذات الجدر السميكة والأقطار الضيقة (Zimmerman, 1964) .

الخشب الحديث والخشب الناضج Juvenile and Mature Wood

إن الخشب قرب مركز الساق في الأشجار يسمى خشبًا حديثًا على أساس أنه تكـون من كامبيوم حديث السن في حين أن الخشب الخـارجي قرب قاعـدة الساق

بالأشجار هو خشب تكون من كامبيوم ناضج عمريًا؛ ولهذا يشار إليه على أنه خشب ناضج (mature) ويعرف Rendle الخشب الحديث على أنه «خشب ثانوي أنتج خلال الفترة الأولى من حياة الشجرة، وله بالتالي مميزات تشريحية محدودة».

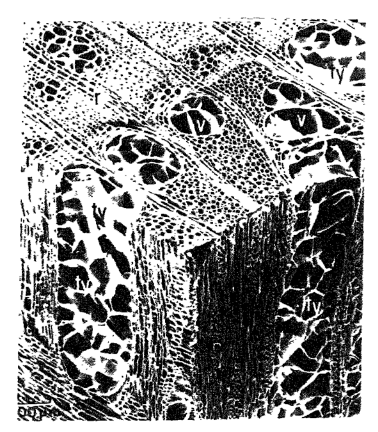
هذا ويتكون الخشب الحديث بتأثر كبير للمرستيمات القمية بالساق فمع نمو الأشجار لأعلى فإن الكامبيوم في أي منطقة بالساق يصبح أقل تأثرًا (أي أبعد) بهذه المرستيمات القمية في التاج الشجري، وبالتالي ينتج خشب ناضج أي أن التسمية مرتبطة بحداثة أو نضج الكامبيوم الذي ينتج الخشب. وتتحدد الصفات التكنولوجية للخشب الحديث بطريقة تكوينه، وعادة يكون أضعف ميكانيكيًا، وتركيبه الكيميائي مختلف عن الخشب الناضج، وهذا كله راجع إلى حداثة البوادىء الكامبيومية التي تكشف منها.

خشب العصارة وخشب القلب Sapwood and Heartwood

تكوين خشب القلب

إن التباين في اللون ما بين خشب القلب وخشب العصارة يبدو واضحًا في القطاع العرضي لسيقان الأشجار خاصة تلك المميزة بالمستخلصات الملونة لخشب القلب مثل الجوز (walnut) أو العرعر *(Juniperus prolera)* هذا ومعظم الأشجار تتميز بوجود جزء داكن اللون في مركز الساق يحيط به خشب العصارة الأفتح لونًا، وهذا التباين اللوني من الخطأ أخذه مقياسًا محدد لخشب القلب إذ أن المقياس الأدق هو مدى غياب الخلايا الحية من منطقة خشب القلب، وقد أثبت Fry Wyssling and Bosshard ١٩٥٩م أن موت الخلايا المرستيمية والأشعة الخشبية هو أول تحويل يطرأ على خشب العصارة ليحوله إلى خشب قلب، وقد تأكد هذا من دراسات على التركيب فوق الدقيق بالميكروسكوب الألكتروني، قام بها Frey Wyssling في عام ١٩٦٥م وقد اقترح كل من Bosshard and Frey Wyssling ان انخفاض تركيز الأكسجين بالخلايا الحية في المنطقة المركزية بساق الأشجار هو أحد الأسباب الرئيسة المؤدية لتحول خشب العصارة إلى خشب قلب (Panshin and De Zeeuw, 1980) .

هذا ويمتاز خشب القلب بوجود نسبة عالية من المستخلصات (extractives) الخشبية (أنظر الباب الثالث) كما توجد به كمية من الصبغات والمواد الملونة تجعل لونه أكثر دكانة، ويرجع Frey Wyssling ذلك إلى أن انخفاض تركيز الأكسجين بالخلايا الحية الداخلية في خشب العصارة (قبل دخولها في تحول إلى خشب قلب) يغير من النظام الأنزيمي بالخلايا، وهذا يسمح بأكسدة وبلمرة وتغيرات كيميائية متسلسلة للفينولات القليلة التركيز الموجودة ويؤدي هذا إلى تكوين مواد ملونة تميز خشب القلب عن المناطق التي لم تزل خلاياها حية في خشب العصارة. . وتميز خشب القلب أيضًا بوجود جيوب أو رواسب صمغية مثل جيوب الكينو (kino) في الكافور والتليوزات في الأشجار ذات الأخشاب الصلدة (tyloses) (شكل ١٠)، وهي عبارة عن تكوينات تسد الأوعية الخشبية، وتنشأ في الأوعية المجاورة لخلايا برانشيمية بالأشعة الخشبية،



شكل ١٠ . التيلوزات كما تبدو بالميكروسكوب الأليكتروني الماسح SEM في السنط الكاذب.
(عن Core, Cote and Dan, 1976) .

وعند تكوينها تنتقل محتويات الخلية البرانشيمية الحية إلى الفراغ الوعائي من خلال غشاء نقرة بين الخلية والوعاء، وتنمو هذه التليوزات داخل الوعاء لتسده، هذا وتنتقل المكونات الحية للخلايا البرانشيمية عبر النقر لتكون هذه التيلوزات وقد أثبت Chatta-way في عام ١٩٤٩م أن فتحة النقرة يجب أن يزيد قطرها عن عشرة ميكرون حتى يمكن أن تتكون تيلوزات عبرها بالأوعية الخشبية المجاورة لخلايا مرستيمية، هذا وإذا قل قطر النقرة عن ذلك فإن ما يتكون هو رواسب صمغية (gum deposits) ولا تتكون تبلوزات ولقد أثبت Côté and Koran, (1964) أن التيلوزات تنشأ من بروتوبلازم البرانشيما المجاورة للأوعية الخشبية.

ومن الصفات المميزة لخشب القلب درجة مقاومته العالية للتحلل ويطلق عليها durability كذلك فإن نفاذيته أقل من خشب العصارة نظرًا لوجود التلوزات والرواسب الصمغية والمستخلصات عالية التركيز، وهذا يرفع من درجة مقاومته للتحلل بالفطريات والإصابة الحشرية إذ إن العديد من المركبات الفعالة في المستخلصات تعد من المركبات العضوية السامة للفطريات والحشرات (Kollman, F. and W. Côté, 1968).

هذا ويتفاوت سمك خشب العصارة من عدة حلقات نموية سنوية كما في السنط الكاذب *(Robinia pseudoacacia)* إلى عديد من الحلقات النموية السنوية كما في الماقوليا *(Maguolia grandiflora)*.

خشب العصارة المحتوى Included Sapwood

توجد هذه الأخشاب كنسيج خشبي داخل خشب القلب ولكن له بعض صفات خشب العصارة ومن الحالات المشهورة خشب العرعر *(Juniperus sp.)* فيوجد به خشب العصارة المحتوى، وهو نسيج خشبي داخل خشب القلب إلا أنه يحتوي على مستخلصات تقارب نسبة مستخلصات خشب العصارة، وبه نسبة رطوبة عالية عن الأنسجة المحيطة به من خشب القلب وهذه المناطق داخل خشب القلب تبدو أفتح لونًا

(شكـل ٥) وتسبب هذه المنـاطق مشكـلات في التصنيع، وعـادة ما تظهر تشققات وانفصال بينها وبين خشب القلب المحيط بها، وقد أثبت Mc Ginnes and Kandeel في عام ١٩٦٩م أن خشب القلب المحتوى كان عادة مصاحبًا للجروح في الأشجار في منطقة الكامبيوم عند تكشف أنسجة هذا الخشب كما وجدا أنه كان مصاحبًا في كثير من الأحيان بأنسجة ناشئة عن الجروح في أخشاب السيدر الأحمر الشرقي (eastern red cedar) وهو من جنس *Juniperus virginiana* حدثت خلال تكشف القصيبات بمنطقة الكامبيوم.

لون ولمعان الأخشاب ورائحتها. Colour, Luster and Odour

يختلف لون الأخشـاب بشدة بين الأنواع المختلفة من الأخشاب، كما يختلف داخل النوع نفسه من الأخشاب، هذا ويتباين لون خشب العصارة وخشب القلب داخـل الشجرة الواحدة. ويحدد اللون عادة استعمال الأخشاب، كما هو معروف في خشب السيدر الأحمر الشرقي (eastern red cedar) والجوز (walnut) والأبنوس (ebony) *Diospyroes ebenum*)) هذا وقـد تطرأ تغـيرات في اللون نتيجـة لتفاعلات ضوئية تؤثـر على الـتركيب الكيميائي للمواد الملونة والمستخلصات المسؤولة عن لون الأخشاب، أو يحدث تأثير للأشعة فوق البنفسجية مع اللون كما هو الحال في السيدر الأحمـر الشرقـي. هذا وقــد يسـتغــل اللون لتميز أخشــاب القلب كما يجري في الصنوبريات، وهذا يبنى على أساس وجود مستخلصات كيميائية معينة تتفاعل لدينا مع إضافة مواد كيميائية خاصة، أو عند درجة حموضة محددة فمثلاً إضافة benzidine إلى خشب الصنوبر يعطي لونًا أحمر؛ نظرًا لوجود مركبات مستخلصة محددة من pinosylvin phenols وهـذا يختلف عن تفـاعل Maul اللوني لتميز المخروطيات من الصـالـدات والذي يبني على المحتوى الميثوكسيلي لكل من نوعي الأخشاب (الباب الثالث). وهذا التفاعل يتلخص في المعاملة بالبرمنجنات للأخشاب في وجود تركيز ٢٪ حامض هيدروكلوريك، ثم بإضـافـة الأنيلين أو الأمـونيا فيتكـون مركبات ملونة في مجمـوعات البروبات الفينولي باللجنين (انظر الباب الثالث). وتكون حمراء في حالة الصالدات، وبنية اللون في المخروطيات. كما أن التفاعلات اللونية تستغل في تمييز

أخشاب القلب من أخشاب العصارة في الجنس نفسه كما في حالة خشب الأرو (oak) الذي يعطي خشب العصارة فيه لونًا أصفر مع دليل المثيل البرتقالي المخفف في حين يعطي خشب القلب لونًا أحمر، وهذا التفاعل اللوني مجرد تفاعل راجع إلى تغير رقم حموضة الخشب مما يغير لون الدليل الكيميائي المضاف إليه.

هذا ومن الممكن الحصول على صورة فوتوغرافية متعددة الدرجات في كثافتها، وتميز بهذا خشب القلب من خشب العصارة، وذلك عن طريق وضع فيلم غير محمض عليها ثم تحميض الفيلم عقب ذلك، وهذا هو ما يعرف باسم تأثير رسل (Russel ef-fect) وقد أرجع كل من Nambiyar and Natten في عام ١٩٦٠م هذا التأثير إلى وجود مواد مختزلة طيارة قد يكون أحدها فورمالدهيد بدرجات مختلفة التركيز في خشب القلب وخشب العصارة (Kollman and Côté, 1968).

أما خاصية اللمعان «luster» فهي إحدى خواص الخشب التي تحدد مدى عكسه للضوء، وهي ترجع إلى وجود مواد شمعية أو زيتية بالخشب بالإضافة إلى زاوية سقوط الضوء نفسها على القطاع الخشبي.

أما الطعم والرائحة فهما أيضًا صفتان ترجعان إلى وجود نوع من المستخلصات الخشبية (extractives) القادرة على إعطاء مركبات حرة تنطلق إلى الجو المحيط في صورة جزيئات حرة (free molecules) هذا والجدار الخلوي نفسه ليس له رائحة محددة، وإنما ترجع الرائحة إلى وجود هذه المستخلصات أو الرواسب الصمغية كما في أخشاب الصندل (*Santalum lanceolatum*) الذي ترجع رائحته إلى مركبات «sesquiterpenes» مثل مادة canceol أو مادة cadinol أو رائحة السيدر المميزة التي ترجع إلى عديد من الكيتونات بهذا الخشب (Kandeel, 1985).

هذا وتتناسب قوة الرائحة مع تركيز المستخلصات ويفيد المذاق والرائحة في عملية التعرف على الأخشاب، وتميزها كما يتحدد استخدامها في بعض الصناعات الخاصة. (Panshin and De Zeeuw, 1980).

قوام الأخشــاب وترتيبــها Wood Grain and Texture

إن قوام الأخشـاب يُقصـد به مدى نعومة الأخشاب أو خشونتها وهذا يقاس ميكروسكوبيًا بالعرض المماسي للقصيبات (أنظر الباب الثاني). أما ترتيب الألياف (wood grain) فيقصـد به ترتيب المكـونـات الخشبية معًـا داخـل القـطاع الخشبي، فقـطاعـات الأخشـاب هي قطاعات من نسيج مكون في أسطوانة الساق، أي من قطاعات دائرية، وعلى هذا فهي إما قطاعات عرضية (cross) وإما مماسية للحلقات السنوية (الدائرية) بالساق (trangential) أما إذا كان السطح المعرض موازيًا للاتجاه القطري في الساق فيسمى قطاعًا قطريًا (radial) حيث يكون القطع فيه موازيًا لاتجاه الأشعة الخشبية (Panshin and De Zeeuw, 1980) .

أما ترتيب الألياف نفسه فهو راجع إلى وضع المكونات الخشبية (الباب الثاني) معًـا عنـد تكشفها داخل الأشجار. هذا وتمتد الألياف في النمو رأسيًا داخـل سـاق الأشجـار فـي اتجـاه محـور السـاق وهـذا واضـح إذا كـان الترتيـب خطيًـا أو طوليًـا (straight grain) . أمـا في حالـة الـترتيب المجعد (Cyrly) أو المتموج فيظهر هذا في أخشاب نموها فيه هذه الصفات مثل القيقب (*Acer* sp.) كما أن هناك ترتيبًا تتشابك فيه الألياف وتتقاطع، ويسمى (interlocked) كما في أخشاب الماهوجني، وفيه ينعكس اتجـاه الألياف فجأة داخـل الأشجـار فـي حلقات النمـو المتتالية كمـا فـي الكايـا والماهوجنـي (*Khaya* sp. & *Switenia macrophylla*) .

المراجــــع

أولاً: المراجــع العربيــة

النجار، لطيف وتوفيق، سمير ١٩٨١م. *تكنولوجيا الخشب*. الطبعة الأولى، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، الجمهورية العراقية.

بدران، عثمان وقنديل، السيد عزت ١٩٧٩م. *أساسيات علوم الأشجار، وتكنولوجيا الأخشاب*. دار المطبوعات الجديدة، القاهرة.

ثانيًا المراجــع الأجنبيــة

Desch, H. 1968. *Timber and Its Structure and Properties.* McMillan, London.

Kandeel, S.A.E. 1985. Chemical and Pharmaceutical Forestry Products. *FAO IX World Forestry Congress.* Position Paper, Item II - 2.5.,Mexico.

Kollman, F. and Côté W. 1968. *Principles of Wood Science and Technology. Vol. I. Solid Wood.* Springer Verlag. New York.

Larson, P.R. 1969. *Wood Formation and the Concept of Wood Quality.* Tale University Press. New Haven.

McGinnes, A. Jr., Kandeel S.A.E. and Szopa P. 1969. The Frequency and Selected Anatomical Features of Included Sapwood in Eastern Red Cedar. *Wood Science.*, 3 (20).

Core, H., Côté W. and Day A. 1976. *Wood Structure and Identification.* Syracuse Univ. Press. New York. p. 168

Panshin, A.J. and dezeeuw C. 1980. *Textbook of Wood Technology.* Vol. I. 4th ed. McGraw Hill. New York.

Zimmerman, M. 1964. 1968. *The Formation of Wood in Forest Trees.* Academic Press. New York.

التركيب الميكروسكوبي للنسيج الخشبي

Microscopic Structure of Wood Tissues

- النسيج الخشبي في معراة البذور ومغطاتها
- تركيب الجدار الخلوي في الأخشاب
- المراجع

النسيج الخشبي في معراة البذور ومغطاتها

Wood Tissue in Gymnosperms and Angiosperms

المكونات الأساسية للنسيج الخشبي

النسيج الخشبي يشتمل على مكونات من خلايا برانشيمية وخلايا بروزنشيمية. هذا والخلايا البرانشيمية لا تختلف في المخروطيات عنها في مغطاة البذور؛ إذ إنها عادة ما تكون قصيرة رقيقة الجدر، ذات نقر بسيطة، وقد يختلف شكلها حسب موقعها في النسيج وإن كان أكثر أشكالها انتظامًا يوجد في معراة البذور بالأشعة الخشبية حيث تأخذ الشكل القالبي (brick shape) . هذا وتبلغ نسبتها في معراة البذور أقل من ٥٪ من النسيج الخشبي حجميًا في حين أنها تمثل من ٧ ـ ٨٪ في المتـ [illegible] من حجم النسيج الخشبي في مغطاة البذور، وقد تزيد هذه النسبة لتصل إلى ٢٠٪ في المتوسط بالصالدات (hardwoods) وإن كانت تبلغ ٣٠٪ من حجم النسيج الخشبي في الصالدات ذات الأشعة المتراكمة (aggrigates) .

وعمومًا فإن تركيب النسيج الخشبي أبسط في المخروطيات (معراة البذور) فمع البرانشيما الموجودة بالأشعة والقنوات الراتنجية توجد البروزنشيما من القصيبات التي تمثل ٩٠٪ من حجم النسيج الخشبي تقريبًا.

أما صالدات الأخشاب بمغطاة البذور فهي أكثر تعقيدًا من الوجهة التركيبية.

هذا وتشمـل مكـونات النسيج الخشبي بالمخروطيات القصيبات «بروزنشيما» والخلايا الطلائية (epithelial) المحيطة بالقنوات الراتنجية، وهي خلايا برانشيمية هذا بالنسبة للمكونات الممتدة بطول محور ساق الشجرة أي بطول محور النسيج الخشبي (جدول رقم ١).

جدول ١. مكونات النسيج الخشبي في المخروطيات.

مكونات طولية مع محور الساق	مكونات عرضية
١ـ ا ـ قصيبات طولية (بروزنشيما)	١ـ قصيبات شعاعية (ray tracheids)
ب ـ قصيبات متراكية (strand tracheids)	
٢ـ برانشيــما	٢ـ برانشيــما
ا ـ برانشيما طولية	ا ـ برانشيما شعاعية (ray parenchyma)،
ب ـ برانشيما طلائية	ب ـ برانشيما طلائية

أما المكونات الممتدة عرضيًا في النسيج الخشبي فتشمل القصيبات الشعاعية (ray tracheids) (بـروزنشيما) والخـلايا الـطلائية المحيطة بالقنوات الراتنجية الممتدة عرضيًا، والقصيبات الطولية في المخروطيات هي خلايا بروزنشيمية طويلة قد تصل في الـطول إلى ٧ ملم كما في السكـويا (sequoia) (جـدول رقم ٢) وهـذه الخـلايا البروزنشمية أو القصيبات ذات نهايات مغلقة، وهي متعددة الأسطح ومدببة الأطراف.

وتبدو سداسية في مقطعها العرضي. وعادة ما يؤخذ الاتساع أو القطر المسامي للقصيبات مقياسًا لدرجة نعومة القوام (texture) بالأخشاب.

جدول ٢ . أطوال وأقطار (مماسية) القصيبات الطولية بالمخروطيات

الاسم العلمي	متوسط الطول مليمتر		متوسط القطر
	أعلـى	أقصـر	ميكرومترUM
Sequoia sempervircus	٧,٣٩	٥.٧٩	٨٠
Taxodium distichum	٥.٧٩	٣.١٤	٧٠
Pinus lambertiana	٥,٤٠	٥,١٤	٦٥
Larix occidentalis	٤,٠٩	٢,٨٢	٦٠
Pinus monticola	٣,٣٩	٢,٨٣	٦٠
Pinus palustris	٤,٩٠	—	٦٠
Pinus echinata	٤,٨٥	٤,٤٦	٦٠
Pinus taeda	٤,٣٣	—	٦٠
Pinus elliotti	٤,٥٨	—	٦٠
Pinus ponderosa	٤,٠٨	٣,٥٣	٦٠
Pinus jeffreyi	٣,٢٠	—	٦٠
Abies concolor	٣,٧٩	—	٦٠
Abies grandis	٣,٥٣	٣,٠٥	٦٠
Abies magnifica	٣,٢٣	—	٦٠
Abies procera	٣,٦٠	—	٦٠
Pinus contorata	٣,٢٦	٣,١٩	٥٥
Picea sitchensis	٥,٤٥	٥,٢٢	٥٥
Psendotsuga manzicsii	٢,٨٥	—	٥٥
Chamaecyparis lawsoniana	٣.١٨	—	٥٠
Calocedrus decurrens	٣,٦	—	٥٠
Tsuga heterophylla	٣,١٠	٢,٨٧	٥٠
Abies balsamea	٣,٥٣	٣,٣٣	٥٠
Abies fraseri	—	—	٥٠
Pinus resinosa	٢,٧٠	٢,٥١	٤٥
Thuga plicata	٣,١٨	٣,٠٠	٤٥

تابع جدول ٢ .

الاسم العلمي	متوسط الطول مليمتر أعلـى	متوسط الطول مليمتر أقصــر	متوسط القطر ميكرومتر UM
Tsuga canadensis	٤,٢٤	٣,٣٧	٤٥
Larix laricina	٣,٦٨	٣,٨٦	٤٥
Torreya californica	٣,٢٣	—	٥٥
Torreya taxifolia	—	—	٥٥
Pinus strobus	٤,٠٠	٣,٠٠	٤٥
Chemaecyparis notkatensis	٢,٢٤	—	٤٠
Chamaecyparis thyoides	٣,٣٤	٣,٢٠	٤٠
Picea glauca	٣,٧٦	٢,٩٢	٣٥
Picea mariana	٣,٨١	٣,٢٥	٣٥
Picea rubens	٤,٠٠	٣,٠٠	٣٥
Thuja occidentalis	٢,١٧	٢,١٦	٣٥
Juniperus virginiana	٢,١٥	—	٣٥
* *Juniperus procera*	٢,٦٣	٢,٠٧	٢٩
Taxus brevifolia	٢,٣٢	٢,٣١	٢٥

* من دراسات خاصة بجامعة الملك سعود، عطا الله أبو حسن ولطفي الأسطى ١٩٨٤م .

أما القصيبات الشعاعية (جدول رقم ١) بالمخروطيات فهي إحدى الصفات المميزة من حيث التعـريف الميكـروسكوبي لبعض أنواع الأخشاب، وهي عبارة عن خلايا بروزنشيمية ذات نقـر مُصفـوفة أصغر من تلك بالقصيبات، وهي تميزها عن برانشيما الأشعة الخشبية في الصنوبريات الصلدة (hard pines) وفي هذه الأنواع يلاحظ أن القصيبات الشعاعية فيها مسننة الجدر الداخلية (dentated) ، وهذه إحدى مميزاتها التشريحية .

هذا وفي حالة الأشعة الخشبية الفيوزيفورمية (fusiform rays) فإنه يوجد بها قصيبات شعاعية وبرانشيما طلائية وخلايا برانشيما وقناة راتنجية، ويلاحظ أن القصيبات الشعاعية توجد في الأشعة متجانسة النوع الخلوي (homocellular) وحيدة الصف الخلوي (uniseriate) وهذا يحدث أيضًا بالنسبة للبرانشيما الشعاعية، ويوجد كل من الأشعة القصيبية والبرانشيما الشعاعية في الأشعة مختلطة النوع الخلوي (heterocellular) ذات الصف الواحد (uniseriate) أما الأشعة الفيوزيفورمية فهي عديدة الصفوف مختلطة النوع الخلوي ومنها برانشيما طلائية (epithelial cells) حول قنوات راتنجية (جدول رقم ١).

أما مكونات الأخشاب الصلدة (hardwoods) فهي أكثر تعقيدًا وتباينًا من المخروطيات إذ إن فيها أوعيةً (vessels) وقصيباتٍ بأنواعها vasicentric tracheids, vas-cular tracheids وأليافًا (fibers) بأنواعها libriform fibers, fiber tracheids وبرانشيما محورية أو رأسية (axial parenchyma) (جدول رقم ٣).

ومن مميزات صالدات الأخشاب وجود الأوعية (vessels) وهي تكوينات مركبة أنبوبية متوسطة الطول إلى عريضة وفي القطاع العرضي تظهر في شكل ثقوب (pores) في النسيج الخشبي حيث إن فيها فراغًا خلويًا متسعًا، وهي عمومًا أنبوبية مفتوحة النهايات ومتصل بعضها ببعض رأسيًا.

هذا وتتباين الأوعية في الحجم والتوزيع داخل القطاع الخشبي أما الألياف القصيبية (fiber tracheids) فهي التراكيب الليفية بصالدات الأخشاب، أي أنها بروزنشيمية أيضًا وتشابه القصيبات في المخروطيات وإن كانت أقصر بكثير (جدول رقم ٤) حيث تصل حوالي مليمتر واحد في المتوسط، وهي خلايا ذات جدر سميكة ونقر مصفوفة أما الأوعية القصيبية (vascular tr.) فتمثل الأوعية صغيرة الحجم، ولكن لها نهايات مثقبة، والألياف الليبوفورمية (libriform f.) هي خلايا ذات جدر سميكة مستطيلة، ووظيفتها للتدعيم أكثر منها للتوصيل ولها نهايات غير مثقبة مدببة

جدول ٣. مكونات النسيج الخشبي في صالدات الأخشاب

مكونات طولية مع محور الساق	مكونات تمتد عرضيًا
١ـ أوعيـة vessels	١ـ خلايا برانشيما شعاعية
٢ـ قصيبات Trachcids	ا ـ غير قائمة procumbent
ا ـ vasicentric Tr.	ب ـ قائمة عمودية upright
ب ـ vascular Tr.	
٣ـ ألياف fibers (F)	٢ـ ا ـ خلايا طلائية
ا ـ f. trachcids	ب ـ خلايا إفرازية حول الفراغات الصمغية العرضية
ب ـ libriform f.	
٤ـ برانشيما محورية طولية	
ا ـ متراكمة stand parenchema	
ب ـ فيوزيفورمية ,.fusiform parench	
جـ ـ طلائية epithelial	
د ـ إفرازيــة exerting حول الفراغات الصمغية الرأسية.	

(imperforate tapered ends) وجـدرها عليها نقر بسيطة، وهـذه جميعًا تراكيب بروزنشيمية، كذلك فإن الـ .vasicentric tr تشبه الألياف وإن كانت أقصر وجدرها رقيقة، وبها نقر مضفوفة، أما البرانشيما الرأسية (axil) فهي تمتد بطول محور الساق، ولها توزيع مختلف حسب نوع الأخشاب، فهناك (apotracheal) التي لا تتوزع تبعًا للأوعية وهناك المرافقة للأوعية (paratracheal) حول الأوعية، أما النوع المستقل عن الأوعية (apotracheal) فهو قد يتوزع قرب نهايات الحلقات السنوية النموية فيكون Terminal ، أو في شرائط (banded) ، أو تكـون منـتشرة (diffuse) كذلك فـإن المرافـقة للأوعيـة قد تكـون vasicentric paratracheal أي حول الأوعية أو الجنـاحية (aliform) ، أو المماسية الأنتشار مثل Confluent ، أو المتناثرة (scanty) والبرانشيما المحورية، أو الراسية لها أهمية كبيرة في تعريف أنواع الأخشاب ميكروسكوبيًا.

جدول ٤ . متوسط طول الأوعية والألياف في بعض صالدات الأخشاب (بالمليمترات) .

الاسم العلمي	طول الأوعية	طول الألياف	الاسم العلمي	طول الأوعية	طول الأوعية
Acer saccharinum	٠,٤١	٠,٧٦	*Populus grandidenta*	٠,٦٤	١,٣٣
Acer saccharum	٠,٤١	٠,٩٢	*P. tremuloide*	٠,٦٧	١,٣٢
Alnus rubra	٠,٨٥	١,١٩	*P. trichocarpa*	٠,٥٨	١,٣٨
Betula lenta	٠,٩١	١,٥٢	*Prunus seratina*	٠,٣٩	١,٢١
Betula papyrifera	١,٠٠	١,٣٥	*Quercus alba*	٠,٤٠	١,٣٩
Carpinus caroliniana	٠,٤٢	١,١٧	*Q. bicolor*	٠,٤١	١,١٩
Carya ovata	٠,٤٧	١,٣٤	*Q. macrocarpa*	٠,٣٥	١,٢٠
Castanea dentata	٠,٥٨	١,٢٢	*Q. rubra*	٠,٤٢	١,٣٢
Casuarina glauca *	—	٠,٩٧	*Robinia pseudoacacia*	٠,١٨	١,١٣
Casuarina cunnighumiana *	—	٠,٨١	*Salix nigra*	٠,٤٢	٠,٨٥
Diospyrus virginian	٠,٣٦	١,٣٩	*Sanafras albidum*	٠,٣٩	١,٠٢
Eucalyptus camaldulensis **	٠,٥٢	١,١٥	*Tilia americana*	٠,٤٣	١,٢١
Fagus grandifolia	٠,٦١	١,٢٨	*Tamarix aphylla* **		
Fraxinus americana	٠,٢٩	١,٢٦	*Ulmus rubra* **	٠,٢٢	١,٣٠
Gleditsia triacanthus	٠,١٩	١,٢٤			
Ilex opaca	٠,٨٨	١,٧٤			
Juglanus nigra	٠,٥١	١,٢١			
Liquidambar styrasiflua	١,٣٢	١,٨٢			
Liquidamber tulipifera	٠,٨٩	١,٧٤			
Magnolia grandiflora	٠,٧٢	١,٣٩			
Morus rubra	٠,٢١	٠,٩١			
Nyssa sylvatica	١,٣١	٢,٣٠			
Platanus occidentalis	٠,٦٣	١,٠٨			

* لطفي الأسطى ، (من دراسات خاصة بجامعة الملك سعود)، ١٩٨٢م .

** السيد عزت قنديل ، (من دراسات خاصة بجامعة الملك سعود)، ١٩٨٥م .

أمـا المكـونـات الخلوية الممتـدة عرضيًا في صالدات الأخشاب فهي مكونات برانشيمـة أسـاسًا داخل الأشعة الخشبية، وهناك نوعان مميزان: تلك الممتدة قطريًا وتسمى procumbent ، والممتـدة رأسيًا بطول محور السـاق وتسمى upright cells ، والأشعـة متجانسة النوع الخلوي (homocellular) قد تكون مكونة كلها من أي من هذين النوعين فقط أما مختلفة النوع الخلوي منها تضم كلًا من النوعين معًا وعادة يوجد على الحدود العلوية للأشعة أو السفلية النوع الممتد رأسيًا (upright) كما في الأشعة heterocellular .

هذا وحجم الأشعة في صالدات الأخشاب عادة ما يكون أكبر من المخروطيات، وكثيرًا ما تظهر للعين المجردة مثل الزان (beech) أو السنديان (oak) أو الأثل (tamarisk) والكازورينا (casuarina) .

هذا وتتباين نسبة المكونات التشريحية في صالدات الأخشاب، كما يظهر في جدول ٥ .

جدول ٥ . النسبة المئوية لمكونات النسيج الخشبي في صالدات الأخشاب

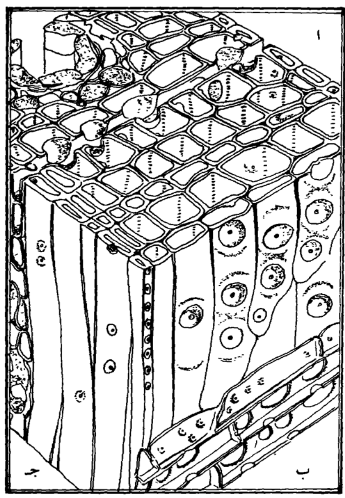
الاسـم العلمـي	أوعيـة ٪	أليـاف ٪	أشعـة ٪	برانشيمـا محوريـة ٪
Acer saccharinum	٢١,٤	٦٦,٦	١١,٩	٠,١
Acer saccharum	٢١,٠	٦١	١٧,٩	٠,١
Betula papyrifera	١٠,٦	٧٥,٧	١١,٧	٢,٧٠
Carya ovata	٦,٥	٦٥,٥	٢٠,٠	٨,٠
Carya pecan	٧,٧	٥٥,٠	٢٦,٤	١٠,٩
Castanea dentata	٣٩,٨	٤٦,٨	١١,٩	١٠,٥
Fagus grandifolia	٢١,٤	٥٦,٧	٢٠,٤	—
Fraxinus americana	٢٠,٤	٦١,٧	١١,٩	٤,٢
Fraxinus nigra	١١,٦	٦٩,٤	١٢,٠	٧,٠

تابع جدول ٥ .

الاسم العلمي	أوعية ٪	ألياف ٪	أشعة ٪	برانشيما محورية ٪
Juglanus nigra	٢١,٠	٤٨,٧	١٦,٨	١٣,٥
Liquidambar styxaciflua	٥٤,٩	٢٦,٦	١٨,٣	٠,٢
L. tulipifera	٣٦,٦	٤٩,٠	١٤,٢	٠,٢
Nyssa sylratica	٣٨,٤	٤٥,٠	١٧,٦	—
Platanus occidentalis	٥١,٩	٢٨,٩	١٩,٢	—
Populus deltoides	٣٣,٠	٥٣,١	١٣,٧	٠,٢
P grandidentata	٣٣,٨	٥٥,٠	١١,١	٠,١
Prunus serotina	٤١,٤	٤١,٤	١٧,٢	—
Quercus alba	١٦,١	٤٧,٨	٢٨,٠	٨,٠
Robinia pseudsacacia	١٤,٨	٥٧,٩	٢٠,٩	٦,٤
Salix nigra	٣٨,١	٥٤,٤	٧,٤	٠,١
Tilia americana	٥٥,٦	٣٦,١	٦,١	٢,٢
Ulmus rubra	٢٩,٣	٥٧,٣	١١,٤	٢,٠

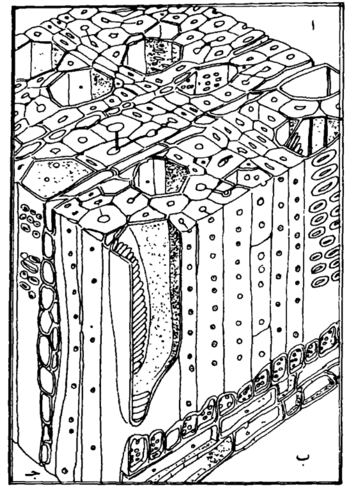
التركيب الدقيق لمعراة البذور ومغطاتها

إن ترتيب وضع الخلايا الخشبية في المخروطيات يوضحه الشكل رقم ١١ لمكعب من أخشاب الصنوبر الأبيض الشرقي، وهذا الشكل يبين العناصر الخشبية، ويوضح القصيبات المرتبة في صفوف قطرية تمتد تقريبًا من النخاع إلى الكامبيوم، كما يظهر في الشكل معظم التراكيب البنائية التي ذكرت آنفًا للمخروطيات، ويظهر في القطاع العرضي (ا) الأشعة (uniseriate) وأنواع الحقول النقرية التي توجد في هذا الخشب بالذات كما يظهر في التخطيط شكل الخلايا الطلائية المحيطة بقناة راتنجية (resin canal) كما تظهر أيضًا قناة راتنجية في القطاع المماسي (جـ) توجد داخل شعاع فيوزيفورمي .



شكل ١١ . رسم تخطيطي للتركيب التشريحي لخشب الصنوبر الأبيض الشرقي مبينًا فيه المكونات التشريحية في القطاع العرضي (ا) والقطري (ب) والمماسي (جـ) (عن بدران وعزت قنديل ١٩٧٩م، Panshin and de Zeeuw 1980) .

ويظهـر الشكـل رقم ١٢ مكـونـات النسيج الخشبي في صالـدات الأخشاب المسامية المنتشرة، ويتضح من الشكل التخطيطي فقدان الانتظام القطري الذي يميز المخروطيات حيث تظهر الخلايا في هذا القطاع للصالدات وكأنها مرتبة عشوائيًا، وإن كانت الدراسات المستفيضة لهذه القطاعات تظهر انتظامًا كبيرًا، وتميزًا بين العائلات والأجناس الشجرية من حيث التشريح الخشبي فمثلاً بالنسبة لتوزيع الأوعية أوضح Kribs في عام ١٩٥٩م كما ذكر كل من Kollman and Côté, 1968 أن ثمانية ترتيبات يمكن



شكل ١٢. رسم تخطيطي للتركيب التشريحي لخشب مسامي منتشر يوضح المكونات البنائية في القطاع العرضي (أ) والقطري (ب) والمماسي (جـ) (عن بدران وعزت قنديل ١٩٧٩م، Panshin and de Zeeuw 1980).

أن توجد عليها الأوعية في الأنسجة الخشبية من بينها أوعية وحيدة أو في مجاميع أو في صفوف مماسية بالحلقات السنوية ـ أو في أشكال تشبه اللهب ـ أو في صفوف قطرية كذلك فإن الأشعة الخشبية ذات الأنواع المختلفة من الخلايا البرنشيمية في الصالدات لها أهمية كبيرة في التميز بين الأجناس والأخشاب، فهناك الأشعة أحادية أو وحيدة الصفوف الخلوية (uniseriate) ، وهناك عديدة الصفوف الخلوية (multiseriate) وهذا يبدو في القطاع (ب) من الشكل ١٢ ، وقد تكون الخلايا قائمة عمودية، أي upright ،

أو procumbent أي ممتدة عرضيًا في محورها الطولي، وقد يوجد كلاهما في النسيج كما هو واضح بالشكل كما في الأشعة المختلطة (hetergeneous) ، وهناك الأشعة homogeneous التي فيهـا نوع واحـد من الخـلايا الشعـاعية، كذلـك هناك الأشعة الفيوزيفورمية أي تلك التي تحتوي على قناة إفرازية صمغية عرضية.

هذا وتحتوي الخلايا الخشبية على نواتج ثانوية لنشاطها الخلوي، ومن بقايا هذا النشاط خلال فترة حياتها مثل بقايا النشويات والبروتينات والزيوت والدهون والتانينات والمركبات العضوية والبلورات، وفي الصالدات من أهم هذه المحتويات التيلوزات (tyloses) (الباب الأول) وهذه تنشأ عن طريق انتقال محتويات خلية برانشيمية حية في شعاع خشبي إلى وعاء مجاور عن طريق الفتحة النقرية، وتنمو في الوعاء حتى تسده، ولها أهمية خاصة في المعاملة بالكيماويات الحافظة، وتؤثر على نفاذية الأخشاب (permia-bility) ، ولها فوائد استعمالية كما في حالة السنديان الأبيض (wite oak) الذي يستعمل لكثرة التيلوزات فيه، وقلة نفاذه في الأواني الخاصة بالتعبئة ببعض السوائل.

كذلك فإن البلورات (crystals) نوع آخر من المحتويات الخلوية وقد توجد في برانشيما الخشب (بـالأشعـة أسـاسًـا)، وغالبًا ما تكون من أملاح الكالسيوم خاصة أكسالات الكالسيوم كذلك هناك أجناس معينة بها السليكات وغيرها.

كذلك فإن الصموغ (gums) توجد ضمن محتويات الخلايا الخشبية في أجناس عديدة كما يوجد إفرازات راتنجية من القنوات الراتنجية بأنواعها في المخروطيات، وقد تفرز من الخشب أو من القلف مثل الصموغ التي تفرز من القلف في أخشاب بعينها وإفراز الراتنجات (resins) من القلف عن طريق جروح به ظاهر في جنس الصنوبر وغيره. هذا والقنوات الراتنجية (resin canals) هي فراغات بين خلوية وتكوينات ما بعد كامبيومية التكشف (post cambial) وتحدث بطرق مختلفة فهناك النوع lysigenous الذي ينشأ عن طريق ذوبان الخلايا وانفصالها عن بعضها، وذوبان الجدر الخلوية أما النوع الثاني فيسمى schizogenous وينشأ عن طريق إنفصال الخلايا بينيًا بطول الجدر

الخلوية، وفي النهاية يتكون الفراغ أو القناة الراتنجية، وإذا كانت الخلايا الطلائية حول القناة غير ملجننة فإنها بعد تكشف القناة تمتد داخل فتحة القناة لتكون لها tylosoides وهي إحدى الصفات المميزة للمخروطيات.

تركيب الجدار الخلوي في الأخشاب

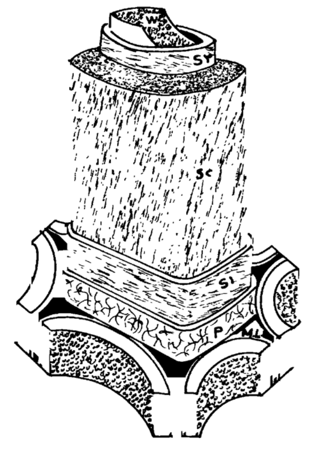
Cell Wall Structure in Wood

تشريح الجدار الخلوي

يتركب نسيج الجدار الخلوي بنائيًا من مركبات بوليمرية (polymeric) من السليولوز واللجنين والهيمسلولوز بالإضافة إلى مواد إضافية من المستخلصات الخشبية، وهذا الهيكل البنائي لتلك المركبات الكيميائية يأخذ تركيبًا محددًا من الوجهة التشريحية.

وبناء على عديد من الدراسات فقد اقترح كل من Bailey وKerr في عام ١٩٣٤م تركيبًا محددًا للجدار الثانوي من ثلاث طبقات محددة هي S_1 وS_2 وS_3 والطبقة S_2 هي الطبقة الوسطى وهي الأكثر سمكًا.

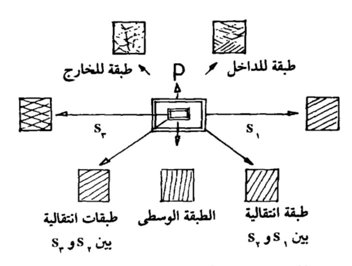
كما لاحظوا أن هناك ترتيبًا محددًا لتجمعات سلاسل السليولوز أو الميكروفبرلات (microfibrils) داخل هذه الطبقات من الجدار الخلوي (شكل ١٣) وقد وجد أن ترتيب الميكروفبرلات في الطبقة الأولى S_1 من الجدار الخلوي يأخذ شكلاً حلزونيًا مثل حرف S اللاتيني بزاوية ٥٠ـ٧٠° مع محور الخلية وهذه الطبقة أقل سمكًا، حيث يصل سمكها إلى حوالي ٠,٢ ميكرون وهي عمومًا ٠,٢٤ ميكرون في ذوات الأخشاب الصلدة (hardwoods) وتصل إلى ٠,٣١ ميكرون في المخروطيات أما الطبقة التالية لذلك جهة الداخل فهي طبقة S_2 والتي يكون فيها ترتيب الميكروفبرلات شبه موازٍ لمحور الخلية صانعًا زاوية من ١٠ـ٣٠° مع هذا المحور ومشكلاً حلزونيًا يقارب شكل حرف Z اللاتيني، وهذه أسمك طبقات الجدار الثانوي، حيث تمثل ٦٧٪ من سمك الجدار في المخروطيات وحوالي ٨٧٪ من سمك الجدار في الصالدات، ومتوسط السمك من ٣ إلى ٥ ميكرون. أما الطبقة الثالثة فهي أقل سمكًا تصنع فيها سلاسل الميكروفبرلات



شكل ١٣ـ تخطيط لتركيب الجـدار الخلوي ووضـع الميكـروفـبرلات في طبقـاتـه المختلفـة. (عن Côté, 1965).

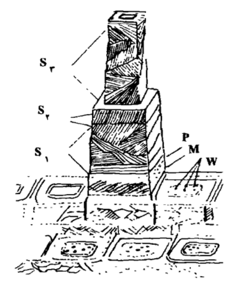
حلزونًا مثل حرف S بزاوية ٦٠ـ٩٠° درجة مع محور الخلية، ويتراوح سمك الطبقة ما بين ٠,٠٧ إلى ٠,٠٨ ميكرون.

هذا ومن الدراسات العديدة التالية لهذا الاقتراح ثبت العديد من الحقائق التي أكدت هذا، وأثبتت أن هناك تغيرًا عن هذا الفرض المبسط لترتيب الميكروفبرلات، فقد ظهر من عديد من دراسات (Wardrop, (1958-1964 أن هذه الطبقات مكونة بالتالي من lamellae أو طبقات رقيقة عديدة فمثلاً S_1 يكون فيه الحلزون S أو Z حسب القرب من داخله، أو خارجة كذلك لوحظ أن S_2 في عدد من lamellae ، وكذلك S_3 (شكل ١٤ أ).



شكل ١٤ ـ ا. ترتيب الميكروفبرلات في الجدار الخلوي

كذلك فقد ثبت فيما بعد أن هناك ترتيبًا مروحيًا (fan shape) لطبقات الجدار وطبقـاته بحيث إن ترتيب الميكروفبرلات يتدرج في الحلزون من طبيقة lamellae إلى التالية لها وهكذا، وظهر أن طبقات الجدار الثلاثة التقليدية تضم العديد من الطبيقات الدقيقة كما يبدو في شكل ١٤ ـ ب، وهذا مبني على دراسات Dunning في عام ١٩٦٨م.



شكل ١٤ ـ ب. دراسات Dunning عن قصيبات الصنوبر وتطبيقاتها (عن Dunning, 1968)

هذا ويتراوح سمك الجدار الابتدائي (ا) ما بين ٠,٠٣ ميكرون إلى ميكرون واحد ولا يظهر إلا ترتيبًا شبكيًا للميكروفبرلات داخل هذه الطبقة من الجدار الخلوي، ومن المؤكد أن هذا النموذج للترتيب يتفاوت داخل النوع الشجري نفسه حسب نوع الوعاء الخشبي، ولهذا فهذا النموذج هو ما اقترح للقصيبات المعتادة في الصنوبر مع الأخذ في الاعتبار أن هناك تباينات عديدة قد توجد في الطليعة.

هذا وقد أظهرت دراسات الميكروسكوب الإليكتروني للتركيب فوق الدقيق التي أجراها Wardrop and Harda (1963) أن النموذج المبسط قد لا يكون هو أفضل شرح لتركيب طبقات الجدار الخلوي، وأدى هذا إلى فروض جديدة (شكل ١٤ ـ ا) كما أدت دراسات Dunning (1968) على الميكروسكوب الإليكتروني إلى تأكيد التركيب الذي يكون في الانتقال بين الطبقات تدريجيًا في زوايا الميكروفبرلات، وتتحول بهذا الزوايا في أشكال مروحية من طبقة إلى أخرى.

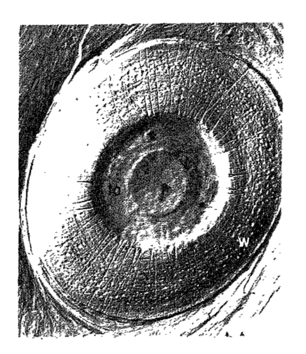
هذا وقد أثبتت دراسات أخرى على الميكروسكوب الإليكتروني أن هذا الترتيب لسلاسل الميكروفبرلات ثابت على درجات الحرارة العادية، ولكنه يختفي تمامًا خلال المراحل الأخيرة في تفحم الخشب. McGinnes, Kandeel and Szopa, 1971 وقد أكد ذلك الباحثون أنفسهم بدراسات بالأشعة السينية للجرافيت والفحم النباتي والأخشاب، وهذا برغم أن التركيب البنائي للخشب يظل محتفظًا بمظهره ميكروسكوبيًا.

الأشكال المنحوتة بالجدار الخلوي Cell Wall Sculpturing

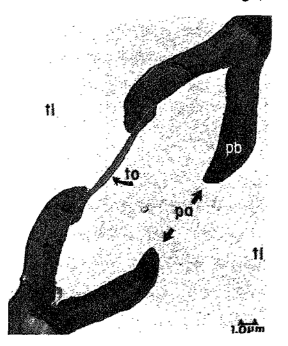
هناك أشكال عديدة تظهر على الجدار الخلوي مثل النقر (pits) والتثقيب (perforation) والتغليظات والتراكيب الثالولية مثل Warts والأهداب (vestures) .

النقر في المخروطيات

يوجد بالخلايا الخشبية ما يسمى بالنقر، وهي فتحات توصيل جانبية بين الخلايا، ويختلف تركيب النقرة (pit) بين المخروطيات وذات الأخشاب الصلدة، فبينما



شكل ١٥ . صورة من ميكروسكوب إليكتروني تبين وضع السرة على سطح غشاء نقرة مضفوفة في المخروطيات (عن Côté, 1965).



شكل ١٦ . صورة ميكروسكوب إليكتروني توضح إغلاق السرة لفتحة النقرة المضفوفة خلال التجفيف بالمخروطيات (عن Côté, 1965).

يوجد في المخروطيات ما يسمى بالسرة نجد هذه التراكيب غير موجودة في مغطاة البذور.

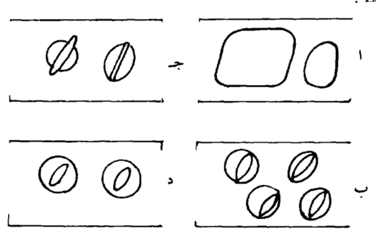
هذا وقبل تكوين الجدار الثانوي في القصيبات نجد أن غشاء النقرة الموجودة بالجدار الخلوي مكون أساسًا من الجدار الابتدائي، وقبل بدء تكوين S_1 فإن ضفة (border) النقرة تبدأ في الظهور والتكوين خلال تكشف الجدار الثانوي، وبهذا يبدأ الترسيب على الجدار الابتدائي ليتكون بهذا ما تسمى بالسرة (torus) التي تتركب من ميكروفبرلات مرتبة دائريًا ثم يبدأ ظهور تكوينات في الغشاء النقري تؤدي لظهور خيوط مدعمة للسرة مكونة من سلاسل ميكروفبرلات، وهذه الخيوط المدعمة للسرة تعرف باسم margo ، وتوجد بينها فتحات تتباين في الاتساع وتسهل عملية الاتصال ومرور السـوائـل، وتبادل الغازات بين الخلايا، وعند انغلاق النقرة المضفوفة (aspiration) الناتج عن التباين في الضغوط خلال فقدان الماء والتجفيف فإن السرة تلتصق بالضفة من أحد جانبيها وتسدها تمامًا وبهذا يغلق ممر السوائل الموجود بين الخلايا الخشبية جانبيًا (الشكلان ١٥ و١٦)، هذا وقد ثبت من دراسة أخشاب معراة البذور أن تركيب السرة واضـح فقط في عائلة الصنوبريات. (pinaceae) أما في معظم الأخشاب المخروطية الأخرى فيتكون غشاء النقرة من تركيب سميك من الميكروبرلات، أما القبة النقرية (dome) المحيطة بالنقرة فهي تتكون من النهاية من S_1 ، S_2 ، S_3 من طبقات الجدار الخلوي.

النقر في ذات الأخشاب الصلدة

مع قلة الدراسات عن النقر في مغطاة البذور إلا أن هناك حقائق ثابتة تتعلق بتركيب النقرة، حيث تتشابه نقر مغطاة البذور (ذات الأخشاب الصلدة) مع نقر معراة البذور بصفة عامة، إلا أن النقر في مغطاة البذور لا يوجد بها تركيب السرة، كذلك لا يوجد بها تغليظ ثانوي على غشاء النقرة، فهو بهذا يتكون من الجدار الابتدائي فقط، ولا يوجد في غشاء النقر بالصالدات، أي فتحات فيها عدا الفتحات فوق الدقيقة التي توجد في مواقع البلازموديزماتا التي يتبقى مكانها كفتحات تسهل تبادل الغازات، ومرور السوائل في الغشاء النقري بمغطاة البذور.

النقــر البسيطة ونصف المضفوفة

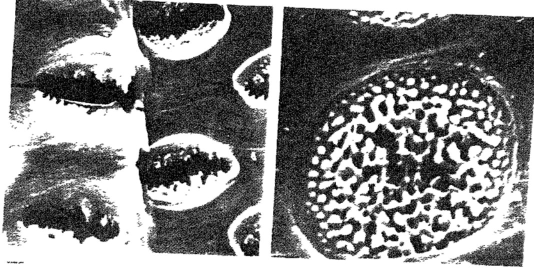
تظهر هذه التراكيب على جدر الخلايا البرانشيمية بالأشعة أو البرانشيما المحورية (axial) وفي الألياف المعروفة باسم libriform في ذات الأخشاب الصلدة، وهذه تظهر على جدرهـا النقر البسيطة التي يغيب فيها تركيب الضفة (border) أما النقر نصف المضفوفة (semi-bordered) فتظهر في حالة الاتصال الجانبي بين قصيبة أو ليفة وخلية برانشيمية أو بين وعاء وبرانشيما وفي المخروطيات لهذه النقر نصف المضفوفة تراكيب خاصة (شكل ١٧) فهي تأخذ أربعة أشكال، إما حقول لنقر نافذية (fenestriform or windolike..) كما في الصنوبريات الناعمة (soft pines) وإما نقر صنوبرية أو بينويد (pinoid) كما في أجناس «*Picea, Psoudotsuga, Larix*» وهناك النوع الرابع وهو النقر المضغوطة (cupressoid) وهي الموجودة في أجناس *Tsuga, Juniperus, Chamyscyparis, Libocedrus* .



شكل ١٧ . حقول النقر البسيطة في المخروطيات
ا ـ نافذية، ب ـ صنوبرية، جـ ـ بيسيا، د ـ مضغوطة.

النقــر الهدبيـــة Vestured Pits

هذا النوع من النقر كان يعرف قبلاً باسم cribriform وقد سماها بذلك Bailey في عام ١٩٣٣م وهي عبارة عن نقر تظهر فيها أهداب هي عبارة عن نموات من الجدار الخلوي تمتد إلى غرفة النقرة ومن خلال فتحة النقرة إلى الفراغ الخلوي (cell lumen) (شكل ١٨)، وهذه النموات تبدو مثل تكوينات الجدار المتثألل (warty) المبطن للجدار



شكل ١٨ . صورة ميكروسكوب إليكتروني ماسح (SEM) تظهر النقر الهدبية
(عن Meylan & Butterfield 1980)
ا - في Leptospermum (تكبير ١٩ ألفا) ب - في *Carmichaelia* sp. (تكبير ٧٣٠٠) .

الثانوي بطبقاته المتعددة، وهذه النموات أكدتها الآن عديد من دراسات الميكروسكوب الأليكتروني، مثل دراسات Côré, (1962) ، هذا وقد أكدت دراسات تكوين هذه الأهداب (vestures) على أن منشأها مختلف عن منشأ الجدار المتثألل فبينما تتكون الـ vestures من البروتوبلازم الحي فإن الجدار المتثألل (warty) عبارة عن متبقيات البروتوبلاست الميت، وعمومًا فمعظم الأجناس التي وجدت لها نقر هدبية وجد أن بها جدرًا ثألولية. وهذه النقر عادة ما تظهر في الأوعية الخشبية لبعض عائلات ذوات الفلقتين من مغطاة البذور.

التغليظات الحلزونية Spiral Thickenings or Hlical Thickenings

هذه عبارة عن نتؤات من تجمعات ميكروفبرلات مرتبة مثل الملف أو الحلزون داخل الفراغ الخلوي المبطن لآخر طبقات الجدار الخلوي الداخلية في بعض قصيبات المخروطيات، أو مكونات الأخشاب الصلدة، وتبدو واضحة في قمم القصيبات ومن دراسات التركيب فوق الدقيق يتضح أن تركيبها يشابه التركيب المتعاكس (criss-cross)

لطبيقات الجدار S_3 (Kollman & Côté, 1968) وقد وجد أنها في الأوعية تكون جزءا من الجدار S_3 (Wergin & Casperson, 1961) ، وهذا في جنس التليا *(Tilia)* وبرغم أن اتجاه الميكروفبرلات في هذه التغليظات الحلقية أو الحلزونية تختلف عن آخر طبقات الجدار المجاورة له إلا أنها تندمج فعلاً في آخر هده الطبقات كما يبدو في أخشاب « *Psendot-suga menziesii* » (Kollmann & Coté, 1968) .

التراكيب الثألولية Warty Sturctures

هذه الطبقة المبطنة للجدار الخلوي وتتميز بأنها اكتشفت وتأكدت بدراسات الميكروسكوب الأليكتروني الأولي على الأخشاب (Harda, 1956, Kobayashi & Utsumi 1951 and Liese, 1965).

هذا وقد أرجعها Wardrop (1964) إلى التراكيب السيتوبلازمية بالخلية (cytoplasmic organelles) .

وهذه التراكيب السيتوبلازمية تصبح محصورة بين البلازمليما (plasmalemma) وطبقة التونوبلاست (tonoplast) ومع تقدم عملية تفريغ الخلية من محتوياتها وتحولها إلى خلايا خشبية ميتة فإنها تبطن الجدار الخلوي S_3 ، ولأن الجدار به بعض نتؤات من قبل فإن هذا الجدار المتثألل (warts) يأخذ شكلها، وتصبح هذه التراكيب داخلها وإن كان هذا الموضوع لم يتم التوصل فيه إلى نظرية محددة.

هذا وتظهر هذه التراكيب في كل من مغطاة البذور ومعراتها.

تغليظات تسنين الأشعة القصيبية Dentate Ray Tracheid Thickening

الأشعة القصيبية خلايا بروزنشيمية (prosenchymatus) في الأشعة بالمخروطيات، وتتميز بنقر مضفوفة صغيرة، هذا وفي بعض الصنوبريات يوجد نوع من التسنين داخل جدر خلاياها كما يبدو في أخشاب السويد *(Pinus silvestris)* وقد درسها Meier في عام ١٩٦٤م وأثبت أنها تشابه التغليظات الحلزونية بالجدار الخلوي في تراكيبها.

المراجـــع

أولاً: المراجــع العربيــة

أبو حسن، عطا الله والأسطى، لطفي ١٩٨٤م. بحث رقم ١ ـ ت ٢ ـ١ـ عن تقويم الخصـائص التكنـولـوجية لأشجـار الغابات في جنوب غرب المملكة العربية السعـودية وإمكـانية استغـلالها. *المركز الوطني للعلوم والتكنولوجيا*. المملكة العربية السعودية.

النجـار، لطيف وتوفيق، سمير ١٩٨١م. *تكنولوجيا الخشب*. الطبعة الأولى، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، العراق.

بدران، عثمان وعزت قنديل، السيد ١٩٧٩م. *أساسيات علوم الأشجار، وتكنولوجيا الأخشاب*. الطبعة الثالثة، دار المطبوعات الجديدة، جمهورية مصر العربية.

ثانيًا: المراجــع الأجنبيــة

Bailey, I.W. and Kerr. T. 1935. The Visible Structure of the Secondary Wall and its Significance in Physical Investigations of Tracheary Cells and Fibers. *J. Arnold Arboretum*. 16:273-300.

Chattaway, M. 1964. The Development of Tyloses and Secretion of Gum in Heartwood Formation. *Australian J. of Sci. Res. Ser; Biol. Sc.* 2:227-240

Côté, W.A. Jr. and Day, A. 1962, Vestured Pits, Fine Structure and Apparent Relationship with Warts Tappi. *Technic., Assoc., of Pulp and Paper* 45:906-910.

Côté, W.A. Jr. 1965. *Cellular Ultrastructure of Woody Plants*. Syracuse U. Press. Syracuse. N.Y.

Dunning, C.E. 1968. Cell Wall Morphology of Long Leaf Pine Latewood. *Wood Science*. 1(2): 65-76.

Harda, H. 1965. The Electron Microscopic Investigation of Wood. On the Fine Structure of the Wart Like Structure of the Pit. *Transactions 65: Mtg. Japan. Forest. Soc.*

Kobayashi, K. and Utsumi, N. 1951. Cell Wall Structure of coniferous Tracheid (In Japanese). *Elect. M. Com. Note,* 56: 93-94.

Kollmann, F. and Côté, W.A. 1968. *Principles of Wood Science and Technology.* Springer Verlag. New York.

Liese, W. 1965. The Warty Layer. In: W.A. Côté. Jr. (Ed.) *Cellular Ultrastructure of Woody Plants.* Syracuse. New York.

McGinnes, A. Jr., Kandeel, S.A. and Szopa P. and 1969. The Frequency and Selected Anatomical Features of Included Sapwood in Eastern Red Cedar. *Wood Sc., Vol. 2(2).*

McGinnes, A. Jr., Kandeel, S.A., and Szopa, P. 1971. Some Structural Changes Observed in the Transformation of Wood into Charcoal. *Wood and Fiber,* 3 (2).

Meier, H. 1964. General Chemistry of Cell Walls and Distribution of the Chemical Constituents Across the Walls. In: M. Zimmerman (Ed.) *The Formation of Wood in Forest Trees.* Academic Press. New York.

Meylan, B. and Butterfield., B. 1971. *Three Dimensional Structure of Wood.* Chap. and Hill. London.

Panshin, A.J. and DeZeeuw, C. 1980. *Textbook of Wood Technology.* Vol I. 4th ed. McGraw Hill. New York.

Wardrop, A.B. 1958. Organization of the Primary Wall in Differentiating Conifer Tractheids. *Australian J. of Botany,* 6:299-305.

Wardrop, A.B. 1964. The Structure and Formation of the Cell Wall in Xylem. In: M. Zimmerman. (Ed.) *The Formation of Wood in Forest Trees.* Academic Press. New York.

Wrgin, W. and Casperson., G. 1961. Uber Entstchung and Aufbau von Reaktionsholzzellen. 2. Mitt. Morphology., der Druckholzzellen von Taxus baccata. *L. Holzforschung.* 15: 44-49.

التركيب الكيميائي للأخشاب

Chemical Composition of Wood

● الطبيعة الكيميائية للنسيج الخشبي ● السليولوز والهيمسليولوز بالأخشاب ● اللجنين بالنسيج الخشبي ● المستخلصات الخشبية ● المكونات غير العضوية ● تكوين المكونات الكيميائية بالنسيج الخشبي ● المراجع

الطبيعة الكيميائية للنسيج الخشبي

Chemical Nature of Wood Tissue

تتحدد طبيعة النسيج الخشبي الكيميائية بمكونات هذا النسيج الذي يتركب من عدد من البوليمرات (polymers) هي السليولوز والهيمسليولوز (بوليوزس) واللجنين، وعلى هذا البناء يترسب خليط من مواد مختلفة الوزن الجزئي هي المستخلصات (extractives) ، ومن الناحية النشوئية فإن الجدار الابتدائي للخلية الخشبية مع الصفيحة الوسطى (اللتان تغلفان الخلية) تتكون عليهما الطبقات التالية من الجدار الثانوي الخشبي، وخلال هذه العملية تترسب سلاسل الميكروفبرلات السليولوزية على الجدار الابتدائي مكونة طبقات الجدار الثانوي، ومع هذه الخطوة يكون بدء ترسب اللجنين في أركان الخلايا قبل تمام استطالتها الذي يترسب في الصفيحة الوسطى والجدار الابتدائي، ثم يترسب في الجدار الثانوي، وبامتداد عملية الجننة إلى الجدار الثانوي وموت الخلية تترسب البقايا السيتوبلازمية للخلية على الجزء الداخلي المبطن للجدار الثانوي مكونة الجدار المتثألل (warty layer) .

ونلاحظ أن السليولوز يقوم بدور الهيكل البنائي للنسيج الخشبي أما اللجنين فيقوم بدور المادة اللاصقة المدعمة في حين أن المادة المالئة يقوم بها الهيمسليولوز (أو عديدات التسكر الأخرى أو البوليوزس الأخرى) هذا وتختلف الأجناس الشجرية في محتواها من السليولوز واللجنين والهيمسليولوز والمستخلصات الخشبية.

وللمقارنة فإنه عادة ما يتم وضع أساس المقارنات على تحليل أخشاب خالية من المستخلصات extractive free ، ويبين جدول رقم ٦ المكونات الكيميائية لبعض الأخشاب المختلفة من المخروطيات والمأخوذة عن Fengel and Wegner (1984) كما يظهر الجدول رقم ٧ تباين التركيب الكيميائي في ذوات الأخشاب الصلدة كذلك توجد تباينات في نسب المكونات الكيميائية بين الأشجار وداخل الأشجار نفسها من أعلى وأسفل الساق ومن النخاع إلى القلف وبين خشب الربيع والصيف في الحلقة السنوية نفسها.

هذا ومع اتباع طرق المعاينة الإحصائية يمكن التوصل إلى تعميمات بالنسبة للتباين في هذه المكونات فنلاحظ أن ذات الأخشاب الصلدة النامية في المناطق المعتدلة تحتوي على لجنين أقل وزيلان «xylan» أكثر عن الأخشاب الصلدة النامية في المناطق المدارية التي تكون بها نسب أعلى من اللجنين بالصالدات وبالمخروطيات أيضًا، ونلاحظ أن نسبة اللجنين بالصالدات وبالمخروطيات أيضًا، ونلاحظ أن نسبة اللجنين أعلى في المخروطيات، كذلك فإن هناك تفاوتًا في المحتوى الميثوكسيلي للأخشاب حيث يزيد في ذات الأخشاب الصلدة أما عديدات التسكر من الهيمسليولوز فهي من نوع الزيلان الحمضي (acidic xylan) في ذات الأخشاب الصلدة مع قليل من الجلوكومانّنات (glucomannan) في حين أن أخشاب المخروطيات ذات محتوى عالٍ من galactog-lucomannan ومحتوى منخفض من الزيلان (xylan) .

هذا ويحدد نسب هذه المكونات (جدولا ٦ ، ٧) السلوك الكيميائي للأخشاب وبالتالي تحدد طبيعة التفاعلات الكيميائية لها وإمكانية تصنيعها في الصناعات المختلفة.

جدول ٦. التركيب الكيميائي لبعض أخشاب المخروطيات.

الاسم العلمي	هولوسيليولوز %	α سيليولوز %	بوليوزس %	بنتوزان %	لجنين %	١١ -خاص الاستيلي البنزيني %	٥ -خاص الماء الساخن %	رماد %
Abies alba Mill.		٤٢,٣		١١,٥	٢٨,٩	٢,٣		٠,٨
Abies balsamea (L.) Mill.	٧٠,٠	٤٩,٤	١٥,٤	٧,٠	٢٧,٧	٤,٣	٣,٦	٠,٤
	٧٢,٨	٤٤,٨		٥,٣	٢٩,٤			٠,٢
Abies sachalinensis Mast	٧٠,٤	٤٠,٩		١٢,٥	٢٨,٧	٢,٩	٤,٥	٠,٥
Araucaria angustifolia Ktze.		٤٤,٣		٤,٥	٢٩,٥	٢,٣		١,٤
Cupressus dupreziana	٦٧,٧	٤٦,٧	١٧,٦		٣٦,٨	١٧,٨	٦,١	٠,٤
**Juniperus procera*	٦٥,١٦	٤٦,٤	١٩,١٢	—	٣٠,٨٤	٦,٠٩	٦,٨٠	—
Ginkgo biloba L.	—	٤٣,٢		٩,٧	٣٢,٣		٤,-	٠,٨
		٤٢,١		١٠,-	٣٣,٨	٣,٧	١,١	٠,٥
Larix laricina K. Koch.	٦٨,٨	٤٣,٩		٥,٣	٢٨,٦			٠,٢
Larix russica (Endl.) *Sabine ex* Trautv.		٤١,٥		٨,٩	٢٦,٤	٢,٨	١٣,٨	٠,٢
Libocedrus decurrens Torr.		٤٧,٩			٣٩,٤	١٣,١	٨,-	٠,٥

* (عن: Kandeel *et al*, 1987)

تابع جدول ٦.

الاسم العلمـي	هولوسيليولوز ٪	α سيليولوز ٪	بوليوزس ٪	بنتوزان ٪	لجنين ٪	استخلاص الاسيتيلي البنزيني ٪	استخلاص الماء الساخن ٪	رماد ٪
Metasequoia glyptostroboides Hu et Cherr.		٤٨,٣		٨,٧	٣١,٥			١,-
Picea abies Karst.	٨٠,٩	٤٦,-	١٥,٣	٨,٣	٢٧,٣	٢,-	٢,-	٠,٣
	٨٢,٥	٤٠.٤	٣١,١		٢٨,٢	١,٤		
Picea glauca (Moench) Voss.	٧٥,٧	٤٤,٨		٩,٨	٢٧,١			٠,٣
Picea jezoensis (S. &Z.) Carr.	٧٥,٣	٤٣,٩		١٣,٥	٢٩,١	٠,٦	٣,١	٠,١
Picea mariana (Mill.) B.S.P.	٧١,٧	٥١,١	١٥,٢	٧,٦	٢٧,٣	٢,٦	٢,٥	٠,٢
Picea omorika (Pancie)		٥٠,٣		١١,-	٢٥,٦			٠,٣
Picea schrenkiana Fisch. et Mey.		٣٩,٦	٢٧,٤	١٢,٧	٣٢,٥	*١,٨		٠,٣
Pinus banksiana Lamb.	٧٢,٣	٤١,٦		٨,٥	٢٨,٦			٠,٢
	٧٤,٨	٤١,١		١٤,٢	٢٩,٨	٠,٥	٢,٤	٠,١
Pinus nigra Arnold var gotschensis		٤٩,٥		١١,-	٢٧,٢			٠,٢
Pinus radiata D. Don		٤٥,٥	١٦,٣	٩,٣	٢٦,٨	١,٥		٠,٢
Pinus strobus L.		٦١,٦		٥,٥	٢٩,٦	١٠,٢	٧,٧	٠,٢

* مستخلص إيثيلي.

تابع جدول ٦.

الاسم العلمي	هولوسيليولوز %	α سيليولوز %	بوليوزس %	بنتوزان %	لجنين %	استخلاص الاسيتيلي البنزيني %	استخلاص الماء الساخن %	رماد %
	٧٠,٦	٤١,٤		١٣,٢	٢٧,٦	٦,٦	٤,١	٠,٥
Pinus sylvestris L.	٧٤,٣	٥٢,٢	١٣,٥	٨,٢	٢٦,٣			
Pseudotsuga menziesii Mirb.	٦٧,-	٥٠,٤		٦,٨	٢٧,٢	٤,٤	٥,٦	٠,٢
Sequoia sempervirens Endl.	٧١,٨	٤٩,٩	١٦,٧		٣٧,-	١٣,٥	٨,٧	٠,٢
Thuja plicata D. Don		٤٧,٥	١٤,٧	٨,١	٣٢,٥			٠,٣
					٣٠,٧	٨,٩		٠,٢
Thujopsis dolabrata (L. f.) S. & Z	٧٢,٨	٣٨,٤		١٣,٦	٣١,٨	٢,١	٣,٣	٠,٤

جدول ٧ ـ أ. التركيب الكيميائي لبعض الأنواع ذات الأخشاب الصلدة

الاسم العلمي	هولوسيليولوز %	α سيليولوز %	بوليوزس %	بنتوزان %	لجنين %	مستخلص الاسيتيلي البنزيني %	مستخلص الماء الساخن %	رماد %
Acer japonicum Thunb.	٨١,٧	٤٧,٤		٢٤,-	٢٠,٧	١,٩	٤,٣	٠,٤
Acer [illegible] L.		٣٨,٣		٢٠,٣	٢٥,٣	٢,٥		٠,٤
Acer rubrum L.	٧١,٠	٤٤,٥		١٧,١	٢٢,٨	٢,٥	٤,٤	٠,٧
	٧٩,-	٤٤,١		١٧,٨	٢٤,-			٠,٢
Acer saccharum Marsh.				١٥,٦	٢٢,٧			٠,٣
		٤٠,٢			٢٣,١			٠,٤
Aesculus hip[illegible] L		٤٧,٥		١٨,١	٢٦,٢	٢,٣	٢,٣	
Alnus glutinosa Gaeftn		٤٧,٥		١٨,١				١,-
Betula papyrifera Marsh.		٤٣,٤		٢٣,-	٢٣,٩	٣,٨		٠,٥
		٣٨,٣			٢٢,-			٠,٤
Betula verrucosa Ehrh.		٤٨,٥		٢٥,١	١٩,٤		٢,٥	٠,٣
		٤٥,٣		٢٥,٣	٢٣,٩	٢,١		٠,٤
Carpinus betulus L.	٨٥,٧	٤٦,٤		٢٣,٩	١٧,٨	٤,٤*		
	٧٩,٤	٤٢,٨		٢٠,١	٢١,٢	٢,-	٣,٩	٠,٥
		٤٣,-		٢٧,-	٢٠,٩	٢,-		٠,٤

تابع جدول ٧ ـ أ.

الاسم العلمي	هولوسيليولوز %	α سيليولوز %	بوليوزس %	بنتوزان %	لجنين %	[illegible] الاسيتيلي البنزيني %	[illegible] الماء الساخن %	رماد %
Carpinus sp.	٧٩,٨		٣٥,٥	١٩,٣	٢٠,-	٢,-	٣,٩	
Carya [illegible] Nutt.		٥٦,٢		١٨,٨	٢٣,٤	٠,٦		٠,٧
C [illegible] *crenta* Bl.	٧٢,٨	٤٠,٣		٢٢,٧	٢٥,٩	٢,٧	٩,٥	٠,٣
C [illegible] *sativa* Mill.		٤٧,٣		١٦,٧	٣١,٨	٤,٧		٠,٤
Fagus crenata Bl.	٨١,-	٤٤,٧		٢٠,٧	٢٠,٦	١,٣	٣,٦	٠,٧
Fagus [illegible] Ehrh.		٣٩,٥			٢٣,٥			٠,٦
Fagus sylvatica L.	٨٥,٦	٤٩,١		٢٢,-	٢٣,٨	٠,٨		٠,٣
	٨٥,٨	٤٤,٥	٣٠,٢	٢٠,٦	٢٢,٢			
Fagus sp.	٦٩,٥	٣٧,٩	٢٨,٣	١٦,١	٢٢,٨	١,٤	,٩	
Fraxinus excelsior L.			٣٦,-		٢٥,٦	٤,٤		٠,٨
Juglans regia L.		٤٠,٨		١٢,٦	٢٩,١		٠,١	٠,٦
Platanus acerifolia Willd.		٥٠,٧		٢٤,٩	٢٩,١			٠,٢
Populus alba L.		٤٩,-		٢٥,٦	٢٣,١	٣,٨	٢,٨	٠,٤
Populus [illegible] Michx.	٨٠,٣	٤٩,٤	٢١,٢	١٧,٢	١٨,١			٠,٤
		٤٢,٧ ٥١,-		١٩,٩	٢٠,٩ ١٧,٦			

تابع جدول ٧ ـ أ.

الاسم العلمي	هولوسيليولوز ٪	α سيليولوز ٪	بوليوزس ٪	بنتوزان ٪	لجنين ٪	مستخلص الاسيتيلي البنزيني ٪	مستخلص الماء الساخن ٪	رماد ٪
Populus sp.	٧٨,٤		٣١,٧	١٥,٩	٢٠,٩	٣,٣	٤,٣	
Quercus robur L.		٤١,١		٢٢,٢	٢٩,٦	٠,٤	١٢,٢	٠,٣
Quercus rubra L.	٤٩,٢			٢٤,١	٢١,٨		٥,٢	٠,١
Quercus sp.	٧٣,٢	٤٠,٥	٢٣,٣	١٧,٥	٢٢,٢			
Sap-wood	٧٨,٧	٣٩,٩	٢٧,٦		٢٤,٩	٢,٤		٠,٥
Heart-wood	٧٧,-	٣٧,٦	٢٨,٦		٢٤,٥	٤,٤		٠,٣
	٧٦,-		٣٤,٧	١٣,٩	٢٥,١	٣,٢	٠,٩	
Robina pseudoacacia L.	٨١,٧	٥٠,١		٢٣,٧	٢٠,٦	٢,٨	٤,٦	,٣
Salix alba L.		٤٩,٦		٢٦,٧	؛٢٢,٧			,٣
Heart - wood	٨٩,٢	٤٨,٧		١٦,٣	٢٥,٧	*٣,٢	٣,١	,٤
Salix sp.	٧٧,٨		٢٤,٥	١٧,-	٢٥,٤	٢,-	٥,٣	
Sorbus aucuparia L		٤٣,٥		٢٧,١	٢٠,١	٢,٣	٣,٢	٠,٣
Ulmus ame L.		٤٢,-		١٨,٦	٢٩,٤			
		٤٨,٥			٢١,٧			٠,٦
Ulmus carpinifolia Gle		٤٣,-		٢١,٨	٢٧,٣	١,٦	٠,٦	,٨
Ulmus laevis Pall.		٤٨,٧		٢١,٤	٢٤,٥			٠,٨
(= *Ulmus effusa*, Willd.)								

جدول ٧ ـ ب. التركيب الكيميائي لبعض الأنواع الاستوائية ذات الأخشاب الصلدة

الاسم العلمي	الاسم التجاري	هولوسيليولوز %	α سيليولوز %	بوليوزس %	بنتوزان %	[illegible] المستخلص: لجنين البنزيني %	[illegible] المستخلص: الاسيتيلي الساخن %	الماء %	رماد
Khaya [illegible]nthotheca C. DC.	African maho, gany, Khaya		٤٣,٩		١٦,-	٢٨,٢	٣,٥	٣,٣	١,١
Afo[illegible]mosia etata Harms	Afrormosia		٣٩,٨		١٦,٨	٣١,٢	٦,٩	٢,٧	٠,٩
Afzelia africana Smith	Afzelia		٣٥,٨		١٨,١	٢٨,-	٩,١	٥,٣	١,٩
Ochroma lagopus Sw.	Balsa		٥٢,-		١٩,-	٢٤,٥	٢,٦	٢,٨	١,٦
Dalbergia latifolia Roxb.	Bombay black-wood		٣٥,١		١٩,٥	٣٤,٢	٤,٤	٥,٩	١,-
Chlor[illegible]a excelsa Benth. et Hook. f.	Iroko		٣٤,٢		١٥,٤	٢٨,٦	١٣,٨	٣,١	٣,٤
Pterogota macrocarpa	Kefe awari	٧٨,١	٤٤,٩	٢٥,١	١٥,٨	٢٢,٧	٢,٦	٢,٦	١,٣
Te[illegible] superba Engl. et Diels	Limba, afara		٤٤,٢		١٦,٤	٢٩,٢	٣,٤	٣,٤	٣,١
M[illegible] altissima A. Chev.	*Mansonia, bete*		٣٧,٧		١٩,٩	٢٦,٣	٨,٢	١,٩	١,٨

تابع جدول ٧ ـ ب.

الاسم العلمي	الاسم التجاري	هولوسيليولوز %	α %	سيليولوز %	بوليوزس %	بنتوزان %	مستخلص ـ مستخلص: لجنين البنزيني %	الاسيتيلي الساخن %	الماء %	رماد
Triplochiton scleroxylon	Obeche			٤٤,٤		١٥,٥	٣١,٧	٢,-	٢,٢	١,٧
K. Schum.			٧٧,٢	٤٧,٨	٢٠,١	١٦,٨	٢١,٣	١٢,٦	٤,٢	١,٨
A. [illegible] Pierre	Okoume			٤٧,٩		١٥,-	٣١,٤	١,٤	٠,٩	٠,٤
Lophira alata Banks	Red ironwood,			٣٩,٢		١٣,-	٣٩,٨	٣,-	١,٥	١,-
ex Gaertn. f.	ekki									
Tectona grandis L.	Teak (Congo)			٣٩,١		١٣,-	٢٩,٣	١٣,-	١,٨	٠,٧
	(Thailand)			٤٠,٤		١١,٥	٣٢,٨	١٠,٤	٢,٢	١,٤
	(India) sapwood			٥٥,٤		١٤,٧	٣٩,١	*١,٤	٦,٢	٠,٧
	(India)			٥٧,٢		٧,٧	٣٤,٢	١,-	٣,٧	٠,٩
	heartwood									
Millettia laurentii De Wild.	Wenge, awong			٣٨,٨		١٦,٩	٣١,٥	٦,٧	٣,-	٠,٢
				٤٧,٢		١١,٧	٢٦,٤	٦,٨	٣,٨	٠,٤

* ـ مستخلص إيثيلي.

السليولوز والهيمسليولوز (بوليوزس) بالأخشاب

Cellulose and Hemicellulose (Polyoses) in Wood

السليلوز Cellulose

يعتبر السليولوز من أكثر المواد العضوية تواجدًا فوق الأرض داخل المملكة النباتية وأينما وجد فإنه يأخذ شكل الميكروفبرلات وهي حزم طويلة من سلاسل جزيئات السليولوز مرتبة بصورة متوازية وإن كان ترتيب هذه السلاسل داخل الوحدات البنائية للسليولوز مازال موضع عديد من التساؤلات والدراسات، وقد وضعت حوله نظريات عديدة.

هذا وتعد ألياف القطن أفضل المواد السليولوزية نقاءً إلا أن السليولوز يوجد أيضًا مختلطًا باللجنين وغيره في عديد من النباتات، ومع تباين هذه الصورة لوجوده فإن له دائمًا الخواص الكيميائية نفسها وإن كان التركيب المورفولوجي لجزيئات السليولوز قد يتغير داخل الميكروفبرلات المتكونة منه.

عزل السليولوز من الأخشاب

من أصعب المشكلات، إمكانية عزل السليولوز بصورة نقية غير متغيرة من النسيج الخشبي بدون إحداث أي نقص في درجة البلمرة وذلك لأن الأخشاب ملجننة بدرجة كبيرة.

وهناك عمومًا ثلاث طرق لعزل السليولوز وتقديره هي إما طرق لفصل البوليوزس (polyoses) وبقايا اللجنين من الهولوسليولوز وإما فصل السليولوز مباشرة من الخشب وإما تقدير السليولوز عن طريق تحلل مائي (hydrolysis) للخشب والهولوسليولوز ثم تقدير السكريات الناتجة عن التحلل المائي فيما بعد (Côté, 1965).

وبصورة عامة لا يمكن عزل السليولوز بصورة نقية وإن كان هناك الفاسليولوز cross & bevan وهو غير الذائب في هيدروكسيد الصوديوم القلوي أما الجزء الذائب في

الوسـط القلـوي ـ ولكـن يترسـب مـن المحلـول المتعـادل ـ فيسمـى بيتا سليولوز (beta-cellulose) أما الجاما سليولوز (gamma-cellulose) فهو اسم الجزء الذي يتبقى ذائبًا حتى في المحاليل المتعادلة بعد ذلك هذا وقد اقترح Jensten (1911) اختبار ذوبان اللب (pulp) في ١٧,٥٪ من هيدروكسيد الصوديوم وقد عدلت هذه الطريقة وأصبحت حاليًا من الطرق العالمية Tappi-T-203. 05-74 .

هذا والطريقة الأكثر شيوعًا لتقدير السليولوز في المعمل شرحت بواسطة Weise *et al.* (1946) ، وفيها يستخلص الهولوسليولوز في جو نتروجيني في خطوتين بواسطة ٥٪ و٢٤٪ من هيدروكسيد البوتاسيوم وينتج عن الطريقة سليولوز يحتوي بقايا سكريات polyoses ولجنين (Browning, 1967) .

ومـع تكـرار المعـاملة بمحـاليل قلوية مختلفة يمكن تقليل الشوائب من بقايا السكريات واللجنين وإن كان هذا يقلل درجة البلمرة للسليولوز المعزول الذي يعتمد في صورته (الفاسليولوزية) على الجنس الشجري وطريقة العزل نفسها، وقد لاحظ Fengel (1984) ، أنه حتى بعد استخلاص الهولوسليولوز من خشب Spruce بواسطة محاليل ٥٪ و١٧,٥٪ من أيدروكسيد الصوديوم فقد احتوى السليولوز المعزول على بقايا قدرها ١٠٪ من سكر mannan و١,٥٪ من xylan و١,٥٪ من بقايا اللجنين.

هذا ومن المعروف أن السليولوز المسمى cross & bevan يتم عزله بمعاملة متبادلة من الكلورة والاستخلاص بسلفيت الصوديوم الساخن وهذه الطريقة تزيل بعضًا من الهيمسليولوز أو البوليوزس (polyoses) مع اللجنين Mcginnis and Shafizada, 1980 .

والـطرق الأخرى تترك كلًا من السليولوز والبوليوزس (هيمسليولوز) أي تترك الهولوسليولوز معًا مثل تبادل الكلورة والاستخلاص بمحلول كحولي ساخن من monoethanolamine ومعظم هذه الطرق تعزل السليولوز ولكن بصورة متغيرة نوعًا في درجة البلمرة والتحلل. كما يمكن عزل كلوريت الهولوسليولوز باستخدام محلول حمض من كلوريت الصوديوم عند ٧٠ـ٩٠°م (McGinnis and Shafizadah, 1980) .

وعمومًا فلعزل السليولوز من الخشب مباشرة بصورة متكاملة غير متحللة فإنه يفضل معالجة الخشب عن طريق النيترة كما في طريقة Kurschner & Hoffer بخليط حامضي نتريك مركز ٢٠٪ في كحول إيثيلي وهكذا يزال اللجنين وثلثي البنتوزان الموجود ويمكن عزل السليولـوز في شكـل مشتق نترات السليولوز ويتحصل عليه في صورة صالحة للدراسات والتقديرات الجزيئية (Timell, 1965) وقد تمكن Clermont and Ben-der (1961) من عزل الألفـاسليولـوز بعـائـد مرتفـع بمعـاملة الخشب بمحاليل من الكلورين وثـاني أكسيد النتروجين في dimethyl sulfoxide (DMSO) أو بثاني أكسيد الكبريت في DMSO (Fengel and Wegener 1984) .

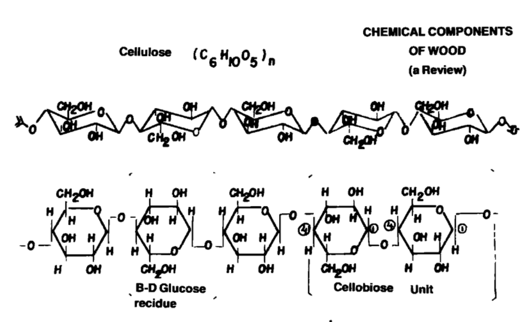
كذلـك فهنـاك طرق غير تقليدية تعتمـد على تقـدير السليولوز من منحنيات التوزيع، كذلك يمكن تأكيد تحديد السليولوز من منحنيات التوزيع، كذلك يمكن تأكيد تحديد السليولـوز عن طريق التأكد من الوزن الجزيئي ودرجة البلمرة بدراسة الضغط الأسمـوزي، أو منحنيات سرعة الترسيب، أو انتشار الضوء، وهناك طرق معملية عديدة لذلك (Fengel and Wegner, 1984) .

التركيـب الجزيئـي للسليولوز

لقد أمكن تميز السليولوز عن الأنسجة النباتية بواسطة العالم الفرنسي Payen في عام ١٨٣٠م (Wise *et al.*, 1952) وبعد ذلك بثلاثة أرباع القرن أمكن وضع تركيبه الكيميائي المعروف حاليًا «$(C_6H_{10}O_5)_n$» (McGinnis and Shafizadeh, 1980) وفي وقتنا الحاضر برغم أن هذا التركيب الكيميائي أصبح مفهومًا إلا أن التركيب فوق الجزيئي للسليولوز وطبيعته البلورية وتركيب الفبرلات منه مازال قيد البحث والمناقشة العلمية إلى الآن ومن أمثلة المواضيع غير المعروفة بالتأكيد في هذا المجال تحديد الوزن الجزيئي بالضبط والانتشـــار المتعـــدد (supermolecular) للسليولـوز وأبعـاد الميكـروفـبرلات السليولوزية (Sjostrom, 1981) .

والسليولوز عبارة عن عديد تسكر وحيد المكون (homopolysaccharide) ومكون من وحدات بقايا جلوكوز (B-D-glucopyranose units) مرتبطة برابطة جلوكوسيدية

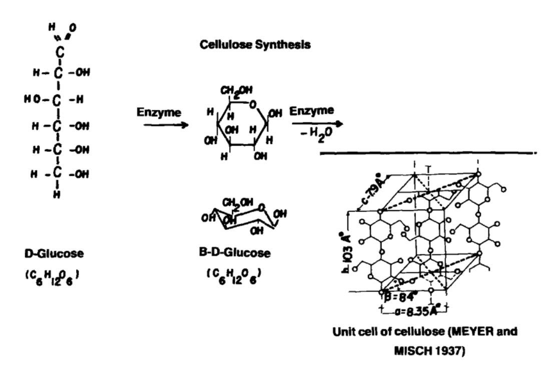
(1-4-glucocidic) (شكـل ١٩ـ ا) وهو بهذا بوليمر (polymer) استقامي (linear) من وحـدات بنائية من الجلوكوز الأندريدي، وله قابلية لتكوين روابط هيدروجينية بين جزيئية وغير جزيئية. (inter and intramolecular).



شكل ١٩ـ ا. التركيب الكيميائي لجُزَيء السليلوز.

وهكذا تتجمع جزيئات السليولوز في سلاسل، وهذه في حزم من الميكروفبرلات توجد بها أماكن مرتبة بلورية (crystalline) تتبادل مع أماكن أخرى أمورفية (amorph-ous) والميكـروفـبرلات تكـون الفبرلات، وهذه بالتالي تكوين الألياف السليولوزية، وكنتيجـة لهذا التركيب الليفي والروابط الهيدروجينية القوية فالسليولوز غير ذائب في معظم المذيبات، ونظرًا لطبيعة الروابط فيه فهو قوي في الشد (tensile) .

هذا وقـد أمكن تأكيد الـتركيب البلوري للسليولوز بدراسات الأشعة السينية وتحليل X-ray diffraction بطرق مبنية على أسـاس امتصـاص الأشعة تحت الحمراء المستقطبة (polarized infrared) والوحدة البنائية (unit cell) (الشكلان ١٩ ا، ١٩ ب) تضم أربع وحدات من الجلوكوز الأندريدي وسلاسل السليولوز فيها تقع بمستويات متوازية في المستوى الفراغي (002) .



شكل ١٩ ب. الوحدة البنائية للسليولوز البلوري.

ويسمح البعد في الاتجاه الرأسي بوجود وحدتي جلوكوز ومن الشكل ١٩ـ ب يبدو أن كل وحدة بنائية بها وحدتا سلوبيوز، أي أربع وحدات جلوكوز، وكل وحدة سلوبيوز في ركن الوحدة البنائية يشترك فيها أربع وحدات بنائية، أي ما يخص كل وحدة بنائية وحدة سلوبيوز، أي وحدتا جلوكوز وفي المستوى (002) الوسطى يوجد وحدتا جلوكوز.

وعلى هذا يكون بالوحدة البنائية أربع وحدات جلوكوز، هذا ويمكن إثبات ذلك رياضيًا كمايلي:

حجم الوحدة البنائية للسليولوز= ١٠,٣×٨,٣٥×٧,٩= ٦٧٩×١٠$^{-٢٤}$

حجم مونومر الجلوكوز= جرام جزيئي لكل وحدة جلوكوز وهكذا

= ١٦٢ ÷ عدد أفوجادرو

= ١٦٢ ÷ (٦,٠٢ × ١٠^{٢٣})

ومتوسط الحجم النوعي للسليولوز = ٠,٦٢٣ .

وعلى هذا فإن عدد وحدات الجلوكوز الأندريدي في الوحدة البنائية للسليولوز هي :

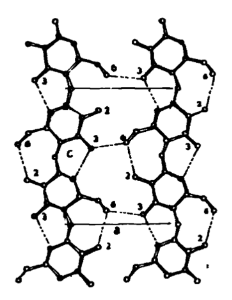
$$= \frac{(٦٧٩ \times ١٠^{-٢٤})}{\left(\frac{١٦٢}{(٦,٠٢ \times ١٠^{٢٣})}\right)(٠,٦٢٦)} = ٤,٠٤$$ وحدة جلوكوز أندريدي

(المعادلة عن : Stamm ، ١٩٦٤) .

ويلاحظ أن كل وحـدة جلوكوز تدور في الفراغ ١٨٠° عن الوحدة التالية لها معطية بهذا محورين للسليولوز «I» داخل الوحدة البنائية البلورية (unit cell) ، وبهذا فإن السلاسل السليولوزية متوازية داخل هذه الوحدة البنائية .

هذا وتـوجـد روابط هيدروجينية تمسـك بهذا البنـاء «lattice» ففي سلسلة السليولوز الواحدة نفسها توجد رابطتان إحداهما بين مجموعة الأكسجين المحمول على ذرة الكربون السادسة في وحدة جلوكوز أندريدي وبين مجموعة الهيدروكسيل المحمول على ذرة الكربون الثانية في وحدة الجلوكوز المجاورة، أما الرابطة الأخرى فبين مجموعة الهيدروكسيل على ذرة الكربون الثالثة وبين الأكسجين الحلقي (شكلي ١٩، ٢٠).

كذلـك هنـاك روابط هيدروجينية غير جزيئية بين المجموعة المحمولة على ذرة الكربون السادسة في جزيء جلوكوز والمجموعة المحمولة على ذرة الكربون الثالثة في جزيء جلوكـوز بسلسلة مجاورة مكـونين بذلك طبقة (layer) من السلاسل، أما في الاتجـاه المحـوري «C» في الوحدة البنائية للسليلوز «I» البلوري فإن التركيب يرتبط بروابط فإن ديرفال. (Ott *et al.* 1954) .



شكل ٢٠ . الروابط الهيدروجينية بين الذرات المختلفة المكونة لجزيء السليلوز وبها فإن كل جلوكوز أنـدريدي يكون رابطتين داخل الجزيء (بين المجموعة على ذرة الكربون الثالثة والأكسجين الحلقي وبين ذرة الكربون السادسة والثانية) كما يوجد رابطة هيدروجينية عبر جزيئية بين المجموعة على ذرة الكربون السادسة والثالثة في الجزيء المجاور (عن Sjostrom, 1981) .

أما السليولوز «II» فإن به الروابط نفسها، ولكن نظرًا لأن به السلاسل المتعاكسة (antiparallel) فإن به أيضًا مجموعتيْ روابط هيدروجينية ما بين السلاسل المركزية والسلاسل في أركان الوحدة البنائية، وبالذات ما بين المجاميع المحمولة على ذرة الكربون الثانية في سلسلة وبين المجاميع المحمولة على ذرة الكربون الثانية في وحدة بالسلسلة المجاورة وأيضًا بين المجموعة المحمولة على ذرة الكربون الثالثة والمجموعة على ذرة الكربون السادسة في السلسلة المجاورة وعادة ما يتكون السليولوز «II» نتيجة لتحطيم نسيج السليولوز lattice I ، كما يحدث نتيجة للانتفاخ بالمذيبات القلوية للسليولوز «I» ، وحيث إن السليولوز «II» مرتبط بروابط هيدروجينية بصورة أكبر فهو بهذا أكثر ثباتًا من الناحية الديناميكية الحرارية «thermodinamically» عن سليولوز «I» ولا يمكن تحويلة إلى سليولوز «I» ويوجد السليولوز عادة في الطبيعة في صورة السليولوز

«I» ، أما السليولوز «III» والسليولوز «IV» فهي تنتج عندما يتعرض السليولوز I,II إلى معاملات كيميائية وحرارية خاصة (Sjostron, 1981) .

هذا وتختلف درجة بلورية السليولوزية حسب مصدره فمثلاً السليولوز المستخرج من القطن أكثر بلورية من السليولوز المستخرج من الأخشاب (Lang *et al.*, 1960) .

طول السلاسل السليولوزية والوزن الجزيئي للسليولوز

يتضمن عزل السليولوز عن الخشب تحطيمًا ليس بالقليل يشتمل على خفض وزنه الجزيئي هذا وتوزيع الوزن الجزيئي يتم إحصائيًا في منحنيات تربط ما بين وزن البوليمر «polymer» وطول السلسلة ، ويمكن حساب متوسط الوزن الجزيئي من ذلك إلا أن هذه المتوسطات تختلف حسب طريقة القياس المستخدمة كما يحدث في أي نظام متعدد الانتشار (polydisperse) ويمكن قياس المتوسط العددي (number average Mn))) للوزن الجزيئي بالطرق الأزموسية (الوزن الجزيئي) هو ما يسمى دوليًا الآن الكتلة الجزيئية النسبية (relative molecular mass) كما يمكن تقديره بحساب عدد المجاميع النهائية المختزلة (reducing end groups) بالسليولوز (Immergut, 1963) .

أما الوزن الجزيئي المتوسط ((average mol. wet. ($\bar{M}_w$) weight)) فيمكن قياسه بطرق الانتشار الضوئي (light scattering) أما طرق الترسيب الاتزاني (sedimentation equilibrium) من خلال الطرد المركزي العالي (ultracentrefugation) فتعطي (M_z) في حين أن استخدام طرق قياس اللزوجة يعطي وزنًا جزئيًا يسمى «M_v» (Sjostron, 1981) . هذا وفي حالة السليولوز فإن العلاقة ما بين عدد وحدات المونمر في السلسلة (أي درجة البلمرة «D.P.» وبين الوزن الجزيئي هي $\frac{M}{162} = D.P.$

لأن ١٦٢ هي الوزن الجزيئي للمونمرات السليولوزية أي جزئي الجلوكوز الأندريدي وتعتبر النسبة بين $n\bar{M}$, $w\bar{M}$ هي القياس للانتشار المتعدد (polydispersity) هذا وقد أظهرت دراسات الوزن الجزيئي للسليولوز أن سليولوز القطن له درجة بلمرة تصل إلى

١٥,٠٠٠ في حين أن درجة بلمرة تصل إلى ١٥,٠٠٠ في حين أن درجة البلمرة لسليولوز الخشب ١٠,٠٠٠ (= عدد الوحدات من الجلوكوز الأندريدي) كما ثبت أن السليولوز في الجدار الثانوي يعد وحيد الانتشار (monodisperse) في حين أن سليولوز الجدار الابتدائي عديد الانتشار (polydisperse) .

الميكروفبرلات السليولوزية

يأخذ السليولوز في أشكاله كافة بالنباتات شكل تجمعات لحزم من السلاسل السليولوزية تسمى *الميكروفبرلات* (microfibrils) هذا ونتيجة لأن التركيب المورفولوجي لجزئي السليولوز مازال غامضًا نوعًا ما فهناك عدد من النظريات والطرق لشرح هذا التركيب (Kandeel, 1969, Pearl, 1964) .

وبالنسبة لحجم الميكروفبرلات وأبعادها فإن هذا يبدو أنه متوقف على مصدر السليولوز ومكانها بالجدار الخلوي النباتي، وقد أثبت Preston أن أقطارها في سليولوز منتج من الطحالب هي ٨,٣×٣٨nm (نيوتن) في حين كانت في دراسات أخرى (Hodge & Wardrop) ما بين ٥×١٠nm في دراسات أجراها Vogel على ميكروفبرلات من ramie كانت ١٧×٢٠ nm وهذا كله يوضح النقص في انتظام أبعادها (McGinnis and Shafizadeh, 1980) .

وهذه الدراسات أعقبها دراسات أحدث باستخدام طرق الميكروسكوب الاليكتروني والأشعة السينية اتضح منها أن هناك مكونات أدق داخل الميكروفبرلات تسمى الفبرلات الأولية (elementary fibrils) أو (protofibrils) لها أقطار في حدود ٣,٥nm ، وهذه هي الوحدات الأساسية الحقيقية في تركيب السليولوز بالنباتات الراقية (Muthlethaler, 1965) وإن كان هناك بعض التناقض في هذا الشأن أيضًا بين عديد من الباحثين(Côté, 1965, McGinnis and Shafizadeh, 1980,Frank and Emen 1969 and Kandeel 1969) بل إن بعضهم توصل لدراسة أبعاد تصل إلى واحد nm وأسماها الفبرلات تحت الأولية (subelementary) واقترح بعض الباحثين أمثال Wardrop, Marton وغيرهم أن اللجنين يحد من نمو وتطور الفبرلات السليولوزية وبالتالي أبعادها. وهذا كما ظهر من استعراض عديد من البحوث (McGinnis and Shafizadeh, 1980 and Kandeel, 1969) .

أمـا بالنسبـة لتركيب الميكروفبرلات فقد مر بمراحل عديدة منذ نظرية شبكة الميسلات التي اقترحها Nageli, (1958) التي ترى أن هناك أجزاء تحت ميكروسكوبية بلورية أسماها ميسلات (micells) وبينها فراغات مملوءة بمادة بين خلوية (Kandeel, 1969) وقد تأكد هذا التركيب البلوري على الأقل جزئيًا بعد اكتشاف نمط الأشعة السينية الواضح للسيليولوز البلوري المسمى cellulose I في المملكة النباتية (عدا نباتات halicystis) والحيوانية كافة وقد وجد له النظام نفسه بالأشعة السينية لتركيبه البلوري وبنـاء على هذا فقـد اقـترح Meyer & Misch في عام ١٩٣٧م نمطًا للوحدة البنائية للسليولوز البلوري (شكل ١٩ب) وفي اقتراحهما ظهر أن سلاسل السليولوز متوازية متعـاكسـة (antiparallel) بمعنى أنها مرتبـة طوليًا في اتجـاهات متعاكسة وإن كانت الشواهد العلمية الحديثة تناقش هذا بحذر ولا تقبله حاليًا بصورة نهائية حيث لا يشرح كل سلوك وأنماط السليولوز (Marchessanlt *et al*, 1962) .

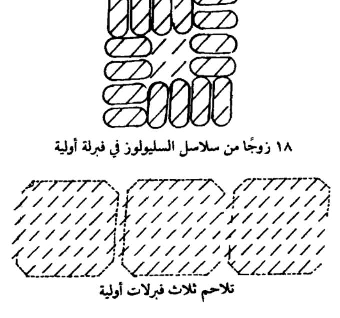
وبعـد هذا أظهـرت دراسات في استخدام التشتت الاليكترونـي منخفـض الحـرارة (low temperature electron diffraction) على الفالونيا (volonia) بواسطة Honjo & Watanabe أوضحت هذه الدراسات أن الوضع الأصلي كما اقترح بواسطة Meyer & Misch ليس صحيحًا بل إن أبعاد الوحدة البنائية أكبر مما هو مقترح ثم أعقب هذا دراسـات بواسـطة Garder & Blackwell على الفـالـونيا وبـواسـطة Dobb على السليولوز القطني (McGinnis and Shafizadeh, 1980) .

وقد اقترح بناء على عديد من الدراسات (Kandeel, 1969) . أن السليولوز قد يكون به نوعان من الوحدات البنائية وأن سليولوز القطن و ramie به الوحدات مثل ما اقترحه Meyer & Misch في حين أن السليولوز البكتيري به وحدات أكبر من هذا كما أوضحت هذه الدراسات ودراسات أخرى أن ترتيب السلاسل المتعاكس مشكوك فيه، وأنها متوازية داخل الوحدة البنائية (Frey-Wyssling, 1959-1964) .

وبالنسبة للطبيعة البلورية للسليولوز فقد تأكد من دراسات عديدة أن هناك نمطًا محددًا للأشعـة السينية يعـطيه السليولوز «I» إلا أن هناك مناطق أخرى ليست تامة البلورية (Kandeel, 1969) .

وهو بهذا به مناطق بلورية (crystalline) ومناطـق أمورفية (amorphous) هـذا ومـن النـظريات العديـدة بعـد نظريـة الميسلات التـي نفترض وجود أجزاء بلورية توصل بعض الباحثين إلى نظريـة شبكـة الميسلات (fringed micllar) وفيهـا أن المناطق تامـة البلورية (crystalline micelles) تحـاط بمنـاطق أخـرى أمورفية موزعـة حولهـا وهكذا قدمـت نظرية شبكـة الميسلات تفسيـرات لحالات محددة فـي سلوك جزيء السليولوز مثـل النمـط المتحصـل عليه بالأشعـة السينية، ومثـل امتصاص الرطوبة بدون تغيـر التركيب البلوري ومثـل التحلل المائـي الجزيئي المؤدي إلـى تكون قطـع صغيرة مـن الميسلات البلورية بأبعـاد ٥ ـ ١٠ nm × ٥٠ إلى ٦٠ nm والمعروفة باسم microcrystalline cellulose (McGinnis & Shafizada, 1980).

وحسب هذه النـظرية فإن الميكـروفـبرلات تتكون من مناطق بلورية وأمورفية تتكـون مـن انتقـال سلاسـل السليولوز فـي الميكروفبرلات من مناطـق تكـون فيها مرتبـة (بلورية) إلـى مناطق أقـل ترتيبًا (أمورفية) إلا أن هـذه النظرية لا تشـرح وحدها كل ما عـرف عـن سلوك جزيء السليولوز، ولهذا فقـد شرحت عدة نظريات أخرى



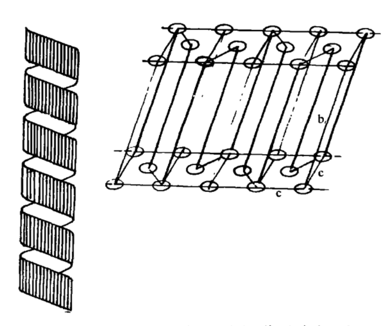
شكل ٢١ ـ ١. نظرية الفبرلات الأولية المحتوية ١٨ زوجًا من سلاسل السليولوز

تتضمن الربـط بين وجود مناطق بلورية وغير بلورية في ترتيب معًا مثل اقتراح Frey Wyssling, (1959) الذي اقترح فيه تكوين قلب بلوري من السليولوز يحيط به أو معه منـاطق بها سلاسـل بوليمرات أساسها سكريات وبقايا سكرية وماء وقد عدل هذه النظرية Muhlethallar, (1965) .

وقد أوضح الأخير كيفية وجود elementary fibril أو فبولة أولية (شكل ٢١ـأ) بها ١٨ زوجًا من السلاسل السليولوزية المتعاكسة التوازي (Kandeel, 1969 ، Côté, 1965) كذلك فهناك نظريات أخرى مثل نظرية Ranby (1957) التي تقرر أن المناطق الأمورفية ما هي إلا مناطق غير منتظمة الترتيب تمر بها سلاسل السليولوز بطـول الميكروفبرلات، وأعطي أبعادًا قـدرها ٦٠٠ أنجستروم هـي بطـول المناطـق البلوريـة ثـم قـام كـل مـن Frey Wyssling, (1959) و Muhlethalon, (1965) بتعديل في نظريتهم الأولى واقترح فيه أن المناطق تامة البلورية في الفبرلات الأولى ترتبط جانبيًا مكونة الميكروفبرلات.

كذلــك فإن هنــاك نظرية الفـبرلات الشبكية (finged fibrils) التي وضعهـا Hearle (1963) ، والتي تظهر المناطق البلورية كشبكة مستمرة من الفبرلات مكونة من جزئيات السليولـوز، وهـذه النـظرية تجمـع ما بين نظريتـين سابقتـين إحداهما عن استمـرارية الجـزيء السليولـوزي كما اقـترحها Standinger (1932) ، ونظرية شبكة الميسلات (Kandeel, 1969) . هذا وهناك نظرية اقترحها Manley وتسمى folede chain وتقترح أن السلسلة السليولوزية تكون شريطًا ملتفًا سمكه ٣,٥ nm (٣٥ أنجستروم) وسمكه ٠,٨ nm (٨ أنجستروم).

ويلتف الشريط بهذا القطر، أو العرض على لفات بطول ٤ nm (٤٠ انجستروم) (شكـل ٢١ـ ب) ومن مميزات هذه النظرية إمكانية شرح الاتجاه المتعاكس لسلاسل السليولوز إلا أن هناك العديد من الانتقادات لهذه النظرية مثل الأبعاد متناهية الصغر فيها لتحت الميكروفبرلات (subelementary) مما يفترض معه احتمالات تعديل في امتداد السلاسل السليولوزية ويذكر McGinnis and Shafizadeh (1980) أن دراسات Muggli في عام ١٩٦٩م تؤيد بشدة امتداد سلاسل السليولوز بدون تعديل أو تكيف آخر. هذا



شكل ٢١ ـ ب. نظرية السلسلة الملتفة كما يقترحها Manley (1963)

والنمـوذج المقـترح بواسطة Muhlethaler في (١٩٦٠م ـ ١٩٦٥م ـ ١٩٦٩م) (شكل ٢١ـ ا) يبين أن القطاع في الفبرلات الأولية يضم ٣٦ سلسلة سليولوز وأبعاده ٣,٥×٣,٥ nm وبهذا فلا توجد مناطق أمورفية حقيقية، وما يظهر في الأشعة السينية مماثـلاً للأمـورفية إن هو إلا ناتـج عن نهايات السـلاسـل، وانتقـالهـا عن أمـاكنها (dislocation) وقد اقترح Rowland ما يطابق هذا النموذج في ١٩٧٢م (McGinnis & Shafizadah, 1980) وهي تفـترض عدم وجـود مناطق أمورفية، ولكن مناطق عديمة الانتظام بصورة قليلة قد تكون راجعة إلى عدم انتظام الأسطح أو التفاف المناطق البلورية.

هذا ويعتقـد أنـه لا يوجد نموذج واحد بأي من هذه النظريات يشرح وحدة التركيب المورفولوجي لجزيء السليولوز ووضع البلورية فيها فمازال هناك العديد من التعـارض بين فروض النـظريات والنتـائـج الفعلية للسلوك الميكـانيكي للألياف السليولوزية مثلاً، (McGinnis & Shafizadh, 1980, Kandeel, 1969 & Mark, 1967).

الخواص العامـة للسليولوز

لا يـذوب السليولوز فـي المـاء بعكـس النشـأ بالرغم مـن تكون كـل منهمـا مـن وحـدات بنـائيـة متشابهـة أساسًـا إلا ان أختـلاف طبيعـة الروابـط فـي هـذه الوحـدات تجعـل السلـوك الكيميائي لكـل منهمـا مختلفًا عـن الآخـر كذلك فهـي تحـدد قـوة الارتبـاط للجـزيء نفسـه فالسليولـوز لطبيعـة الـروابـط الهيدروجينية والانتـظام فـي نمـط السلاسل به نجده ثابتًا بدرجة كبيرة من حيث قابلية الذوبان وتصبـح العوامل المذيبة لـه هـي تلك المكونة لمركبات معقـدة معـه مثـل هيدروكسيد الأمـونـيـوم الـنـحـاسـي (cupriethylene diamine, cupramonium hydroxide) والكادوسين (cadmium triethylenediamine) وهو أفضل المذيبات للسليولوز.

هذا والمحـاليل القلوية تجعل السليولوز ينفتح ولا يذوب إلا أنها تسبب تحلل السليولـوز وتدهوره (Kollman and Côté, 1968) بصورة مختلفة فعند درجات الحرارة المنخفضة وفي جو الأكسجين تنكسر الروابط الجلوكوسيدية من خلال تفاعل متسلسل تدخل فيه الأصول الحرة (Whistler & Wolform, 1965) أما عند درجات الحرارة العالية فإن المحاليل القلوية تقوم بتكسير الروابط الجلوكوسيدية مباشرة.

هـذا ويـذوب السليولـوز فـي عديـد مـن الأحمـاض المعـدنيـة مثـل (٧٢٪ حامــض كبرتيــك أو ٤١٪ حامــض هيدروكلوريـك أو ٨٥٪ حامـض فوسفوريـك) (Whistler *et al.*, 1965) وهذا يصاحبه تحلل وتدهور degradation السليولوز.

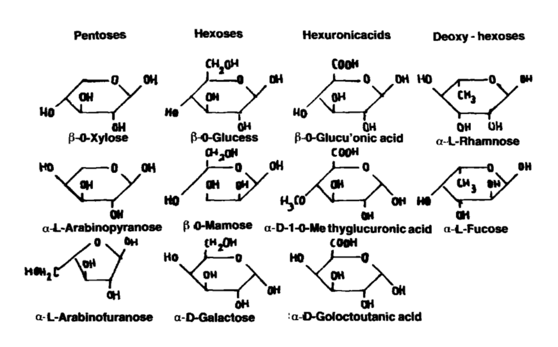
الهيمسليولوز أو البوليوزس (عديدات التسكر الأخرى)

يطلق اسم الهيمسليولـوز على مجمـوعة من عديدات التسكر غير السليولوزية الموجودة بالجدار النباتي هذا وقد أطلق اسم الهيمسليولوز في عام ١٨٩١م بواسطة العالم Shulze (Fengel & Wegner, 1984) إلا أن هذه التسمية قد تكون مدعاة للخلط مع المستخلص من اللب القاعدي والمحتوي على عديد من سكريات الخشب والسليولوز قصير السلسلة وهذا المستخلص يطلق عليه مجازًا في الصناعة أسم الهيمسليولوز أيضًا

ولهذا فإن عديدًا من العلماء يفضلون تسمية البلوليوزس (polyoses) لهذه المجموعة من عديدات التسكر بالخشب (Fengel & Wegner, 1984) .

والبوليوزس تختلف عن السليولوز في كونها مكونة من عديد من الوحدات السكرية في سلاسل قصيرة متشعبة، والوحدات السكرية البنائية لها هي وحدات سكر ناقصة لجزيء ماء (anhydro sugars) تنقسم إلى مجاميع مثل البنتوز (الخماسية) والهكسوز (سكريات سداسية) وحمض deoxy-hexose, hexuronic (شكل ٢٢) وإن كان التقسيم التقليدي للبوليوزس (عديدات التسكر) في الأخشاب ينقسم إلى هكسوز وبنتوز وبولي يورينيدز (polyuronides) .

وهذا التقسيم يعد غير دقيق نظرًا لأن جزيء البوليمر من هذه المركبات فيه نوع واحد في حين أن العكس هو الصحيح في بعض الأحيان حيث إن السلاسل الرئيسة



شكل ٢٢ ـ أهم سكريات الخشب المكونة polyoses

للبوليوزس يمكن أن تتكون من وحدات مونومر (monomer) واحدة وفي هذه الحالة تكون homopolymer أو من عدد من مونومرات أي سكريات مختلفة وفي هذه الحالة تسمى heteropolymer هذا وقد أعطي Aspinall (1973) تقسيمًا للكربوهيدرات بالنبات يقع في الأقسام التالية:

١ ـ سليولوز.
٢ ـ هيمسليولوز (زيلات وجلوكامانان).
٣ ـ بكتين ـ جلوكويورينيدز ـ أرابينان ـ جالكتان ـ أرابينو جالكتان « ».
٤ ـ عديدات تسكر أخرى مثل أرابينوجلكتان «جالاكتوجلوكان أوفوكوجلوكان».
٥ ـ جلايكوبروتيـــن.

هذا وتختلف المخروطيات عن صالدات الأخشاب في نسبة البوليوزس الكلية ونوعيتها أيضًا فبالنسبة للوحدات غير الجلوكوزية بالخشب نلاحظ أن المخروطيات بها نسبة أعلى من المانوز والجالاكتوز عن الصالدات في حين أن الصالدات بها زيلوز ومجاميع أستيل (acetyl) أعلى من المخروطيات (جدول ٨).

البوليوزس (هيمسليولوز) في صالدات الأخشاب.

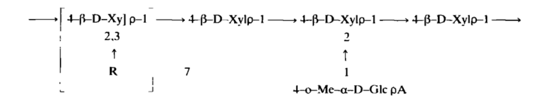
جلوكيورنـوزيلان Glucuronoxylan : بينـما توجـد هنـاك تباينات عديدة بين الأجناس في هذا المحتوى إلا أن المكون الرئيس له هو D-acetyl-4-0- methylglu- curo- non- β -D- xylan والذي يسمى باسم جلوكيورونوزيلان واختصارًا يسمى زيلان (xylan).

وحسب نوع وجنس صالدات الأخشاب فإن محتوى الزيلان يختلف (١٥ـ٣٠٪) ويتركب كمايلي (Sjostrom, 1981).

جدول ٨ . الوحدات غير الجلوكوزية من البوليوزس بالأخشاب (عن : Fengel & Wegner, 1984)

الجنس الشجري	مانان ٪	زيلان ٪	جالاكتوز ٪	أرابينوز ٪	حمض يورونيك ٪	رامنوز ٪	مجموعة استيل ٪
Abies balsamea	١٠	٥,٢	١	١,١	٤,٨	—	١,٤
Larix decidua	١١,٥	٥,١	٦,١	٢	*٢,٢	صفر	—
Larix laricina	١٢,٣	٦	٢,٤	١,٣	٢,٨	—	١,٦
Picea abies	١٣,٦	٥,٦	٢,٨	١,٢	*١,٨	٠,٣	—
Picea glauca	١٢	٧	١,٩	١,١	٤,٤	—	١,٢
Picea mariana	٩,٤	٦	٢	١,٥	٥,١	—	١,٣
Pinus strobus	٨,١	٧	٣,٨	١,٧	٥,٢	—	١,٢
Pinus sylvestris	١٢,٤	٧,٦	١,٩	١,٥	٥	—	١,٦
Tsuga candensis	١٠,٦	٣,٣	١,٨	١	٤,٧	—	١,٤
Thuja occidentalis	٧,٤	٣,٨	١,٥	١,٧	٥,٨	—	٠,٩
Acer rubrum	٣,٣	١٨,١	١	١	٤,٩	—	٣,٦
Betula alleghantensis	١,٨	١٨,٥	٠,٩	٠,٣	٦,٣	—	٣,٧
Betula papyrifera	٢	٢٣,٩	١,٣	٠,٥	٥,٧	—	٣,٩
Betula verrucosa	٣,٢	٢٤,٩	٠,٧	٠,٤	*٣,٦	٠,٦	—
Fagus grandifolia	١,٨	٢١,٧	٠,٨	٠,٩	٥,٩	—	٤,٣
Fagus sylvatica	٠,٩	١٩,٠	١,٤	٠,٧	*٤,٨	٠,٥	—
Fraxinus excelsior	٣,٨	١٨,٣	٠,٩	٠,٦	٦	٠,٥	—
Populus tremuloides	٣,٥	٢١,٢	١,١	٠,٩	٣,٧	—	٣,٩
Robinia pseudoacacia	٢,٢	١٦,٧	٠,٨	٠,٤	٤,٧	—	٢,٧
Ulmus americana	٣,٤	١٥,١	٠,٩	٠,٤	٤,٧	—	٣

* حمض ٤ ـ ا . / ميثيل جلوكيوزنيك .



ومن هذا نلاحظ أن العمود الفقري فيه يتكون من β_D_xylopyranose مرتبطة بروابط ١ـ٤ ومعظم مفردات الزيلوز فيها مجاميع أستيل acetyl «R» عند ذرة الكربون الثانية أو الثالثة (حوالي سبع مجاميع لكل عشر وحدات زيلون) ومع هذا أيضًا تحمل وحـدات الزيلوز جانبيًا حمض 4-0-methyl-∝ -D-glucuronic وقد ظهر من دراسات أجراها كل من Johansson and Samuelson في عام ١٩٧٧م أن الوحدة التالية لنهاية السلسلة المختـزلة في الزيلوز هي حمض جالاكتيورنيك مرتبطة مع رامنوز خلال ذرة الكربون الثانية في حين أن سكر الرامنوز مرتبط بذرة الكربون الثالثة من سلسلة الزيلان.

جلوكومانان Glucomannan : بجانب الزيلان فإن صالدات الأخشاب تضم حوالي ٢ـ٥٪ من جلوكومانات وهو يتكون من: β .D. glucopyranose مع β .D.man-nopyranose مرتبط بروابط ١ـ٤ وتصل نسبة الجلوكوز للمانوز ١ : ٢ أو ١ : ١ حسب نوع الأخشاب ونلاحظ أن روابط المانوسيديك بين وحدات المانوز تتحلل مائيًا بسرعة ويعزل الجلوكومانان ويتحول إلى مونومر (depolymerized) تحت الظروف الحامضية.

هذا وهناك بعض عديدات التسكر الأخرى في صالدات الأخشاب قد تكون مهمة لحياة الأشجار، ولكن نظرًا لكميتها فأهميتها ضئيلة صناعيًا (Sjostrom, 1980) .

البوليوزس (هيمسليولوز) في المخروطيات:

جلاكتوجلوكومانان Galactoglucomannans : هي أهم محتويات البوليوزس في المخروطيات حيث تصل إلى ٢٠٪ منها والعمود الفقري لسلاسلها هي سلاسل متشعبة قليلاً أو استقـامية من وحـدات β .D. glucopyranose and β .D. mannopyranose

والجالاكتوجلوكومانان يمكن تقسيمه إلى جزأين لهما محتويان مختلفان من الجالاكتوز ففي أحدهما تكون نسبة galactose: glucose: mannose (حوالي ١ , ٠ : ١ : ٤ مانوز تقريبًا) بينما في الجزء الآخر تجد نسبة أعلى من الجالاكتوز وتصبح النسبة ١ : ١ : ٣ والجزء المحتوي على جالاكتوز قليل يسمى جلوكومانانات ويلاحظ أن وحدات الفا ـ د ـ جالاكتوبيرونوز مرتبطة كوحدة بسلسلة جانبية بروابط ١ـ٦ كما أن ذرة الكربون الثانية والثالثة ـ في المانوز والجلوكوز مستبدلة جزئيًا بمجموعات أستيل (CH_3CO).

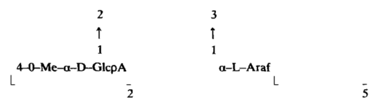
تركيب جلوكومانان وبها: (Glcp) جلوكوبايرانوز؛ (Manp) مانوبيرانوز وجالاكتوبيرانوز (Galp) ؛ (Ac) مجموعة أستيل. (عن: Sjostrom, 1980).

4–B–D–Glcρ–1 ⟶ 4–β–D–Manρ–1 ⟶ 4–β–D–Manρ–1 ⟶ 4–β–D–Manρ–1 ⟶

6 ↑ 1 α–D–Galρ (on the first Manρ); 2,3 ↑ Ac (on the second Manρ)

مجموعة آرابينوجلوكيورونوزيلان Arabinoglucuronoxylan : وهذا تصل نسبته إلى ٥ـ١٠٪ ويتكون من هيكل مرتبط بروابط ١ـ٤ من β -D-xylpyranose مستبدلة جزئيًا في ذرة الكربون الثانية بواسطة حمض 4-0-methyl-∝ -D-glucuronic وفي المتوسط يكون الاستبدال في وحدتين من كل عشر وحدات زيلوز هذا بالإضافة إلى وجود ∝ -L-arabinofuranose بمعدل ١,٣ من الوحدات لكل عشر وحدات زيلوز.

⟶ 4–β–D–Xyloρ–1 ⟶ 4–β–D–Xyloρ–1 ⟶ 4–β–D–Xyloρ–1 ⟶ 4–B–D–Xyloρ 1 ⟶



مجموعة آرابينوجالكتان Arabinogalactan : يعد هذا مكونًا غير مهم في عديد من الأخشاب إلا أنه في أخشاب Larch يوجد بكميات كبيرة قابلة للذوبان في الماء

هذا والعمـود الفقـري لهذا المركب يتكون من وحدات B-D-glucopyranose مرتبطة بروابط ١-٣ وتقـريبًـا فإن كل وحـدة بنائية تحمل تفرعات جانبية عند ذرة الكربون السـادسـة محتـوية جالاكتـوبيرانوز مع أرابينوز بالإضافة إلى بعض أجزاء من حمض جلوكيورنيك، هذا وترجع سهولة الذوبان لهذه السكريات في الماء ولزوجتها المخفضة إلى طبيعة التركيب البنائي لها عديد التفرع والتشعب.

هذا وهنـاك عديدات تسكر أخرى في أخشاب المخروطيات مبنية أساسًا من الأرابينوز والجالاكتوز وأحماض الجلوكيورونيك والجالاكتورونيك وبها بكتين ونشأ أيضًا. (Wenrl, 1970, Timell, 1965) .

اللجنين بالنسيج الخشبي Lignin in Wood Tissues

عزل اللجنين من الخشب

يمكن تحقيق فصل اللجنين من الخشب معمليًا بإحدى طريقتين:

١ ـ عزل الكربوهيدرات واسترداد اللجنين من المتبقيات.

٢ ـ عزل اللجنين مع ترك الكربوهيدرات كمتبقٍ واسترداد اللجنين بطرق تبخير المذيب أو الترسيب الجزئي.

والطريقة الأكثر شيوعًا تعتمد على تحلل الكربوهيدرات مائيًا أي عزلها وتستخدم حمض كبريتيك ٧٢٪ (وهي طريقة العالم السويدي Klason) إلا أنها لا تصلح لطرق التحديد الكمي للجنين نظرًا لتكسير جزيئات اللجنين خلال عملية الفصل.

وطـريقـة عزل اللجنين بإذابته من الخشب مع ترك الكربوهيدرات مع بعض المتبقيات وبعض اللجنين كجزء غير ذائب، وبالتالي يكون اللجنين المعزول قد تجنب التكسير الكيميائي أو التغير في التركيب خلال عملية الفصل إلا أن العائد المفصول من اللجنـين بهذه الـطريقـة يكون أقل، حيث يبلغ ثلث اللجنين الفعلي الموجود أصلاً

بالخشب وهنا كان المعتقد أن جزء اللجنين غير الذائب يطابق في التركيب الجزء الذي أذيب خلال العـزل بهذه الطريقة إلا أن هذا الفرض غير حقيقي في ظل المعلومات الحديثة (Glasser, 1980) .

وهنا يجب أن نذكر أن طريقة عزل اللجنين فيها شيء من الصعوبة إذ يجب أن يراعى عزله بصورة كاملة في حين يكون الجزء المعزول غير متغير أو محطمًا جزئيًا، ومن أكثـر الـطرق مرونة تلك التي ذكرها Bjorkman والذي استخلص اللجنين بالمعاملة بمحلول دايوكسان بعد طحن اللجنين في خليط مع التولوين وعند الاستخـلاص مـرة أخـرى بواسطـة dimethyl formanide + dimethyl sulfoxide أو حمـض خليـك مائـي فإنـه ينتـج مركـب معقـد مـن الكربوهيـدرات واللجنيـن يسمـى (lignin- carbohyd- rate- complex, Glasser, 1980) «LCC» .

وعمومًا فإن نجاح عزل اللجنين بهذه الطريقة متوقف على مدى نجاح تكسير الرابطة بين اللجنين والكربوهيدرات ميكانيكيًا، حيث إن الأصول الحرة المتكونة خلال هذه العملية يمكن لها أن تتحد مع بعض أصول اللجنين الأخرى، وبهذا تزيد من الوزن الجزيئي أو درجة الارتباط المتقاطع (degree of cross linking) باللجنين كما وجد أنها يمكن أن تتحد من المركبات من أكاسيد النتروز (nitrous oxides) أو التولوين (toluene) (Glasser. 1980) وإن كان الطحن يعد غير لازم لإتمام فصل الكربوهيدرات عن اللجنين إذا ما استخدم حامض مخفف لإحداث تحلل مائي (hydrolysis) مع وجود مذيب مثل الميثانول أو الدايوكسان هذا وقد أمكن عزل لجنين غير متغير تقريبًا بصورته الطبيعية عن طريق عزله في شكل مشتق حمض tioglycolic وهذا العزل مبني على تفاعل مجاميع كحول البنزين (benzyl) مع حمض tioglycolic .

وهكذا يعزل اللجنين بدرجة عالية مع التحكم في مشتقاته بالتحكم في ظروف التفاعل وإن كان دائمًا هناك اختيار بين كمية عائد الفصل للجنين وبين درجة التكسير في روابطه بعد العزل بالطرق المختلفة، هذا وفي الصناعة طرق عديدة لفصل اللجنين

مثل الطرق الحامضية والقلوية والمتعادلة والميكانيكية في طرق إنتاج لب الورق التي سيرد ذكرها عند موضع إنتاج لب الورق صناعيًا (الجزء الثاني من المؤلف).

التركيـب البنائـي للجنيـن

من المعروف أن اللجنين يعد من أصعب البوليمرات الطبيعية في تعقيد تركيبه وعدم تجانسه البنائي، وقد عملت تجارب عديدة للإثبات والتحقق من طبيعة البناء الكيميائي والتركيب المورفولوجي لجزيء اللجنين الطبيعي وهذه التجارب تقع في ثلاث مجاميع:

تجارب تحلل وتفكك للجنين وتجارب تحليل وتجارب تحديد المجاميع الفعالة (Harkin and Obst, 1972).

وجميع هذه النظريات والفروض المقترحة للجنين كجزيء ضخم لا يمكن تأكيدها بسهولة حيث لا يمكن وصفه بسهولة ويسر كما هو الحال في السليولوز مثلاً كبوليمر لوحدات مونومرات متكررة، ولهذا فهناك نماذج عديدة، أو أشكال مقترحة لجزيء اللجنين وإن كانت كلها تبنى على أساس أن الوحدة البنائية هي بروبان فينولي يحمل مجموعة مثوكسيل واحدة guajacyl بالمخروطيات ومجموعتي ميثوكسيل syringl في ذات الأخشاب الصلدة (شكل ٢٣ ـ ا) وهذه الوحدات تصنع مع بعضها هذا البوليمر المتفرع المتكشف (Sakakibara *et al.*, 1982).

ويعتبر النموذج الذي قدمه Freuden berg في عام ١٩٥٩م من أول هذه النماذج لتركيب اللجنين (Fengel and Wegner, 1984)، ويلاحظ في هذا النموذج للجنين الـ spruce وجود ١٨ وحدة بروبان فينولي كقطاع من العدد الكلي. والمفروض كونه مائة وحدة كما تقدم فيما بعد Alder في عام ١٩٧٧م باقتراح لنموذج بنائي (شكل ٢٣ ـ ب) مكون من الوحدات ذات التسع ذرات كربون متكررة ١٦ مرة، إلا أن هذا النموذج أيضًا لا يشرح كل الفروض فمثلاً ظهور مجموعة syringl رقم ١٣ لا يمكن توقعه بالضبط (Fengel and Wegner, 1984) وقد ذكر المرجع نفسه اقتراح Sakakibara في عام

HO–(ring)–CH = CH – CH_2 OH (R, R')

Lignin monomer

In Guajacyl one OCH_3

In Syringyl two OCH_3

Gualacyl glycerol
B - Coniferyl Ether

Dehydrodi - Coniferyl Alcohol

DL - Pinoresinol

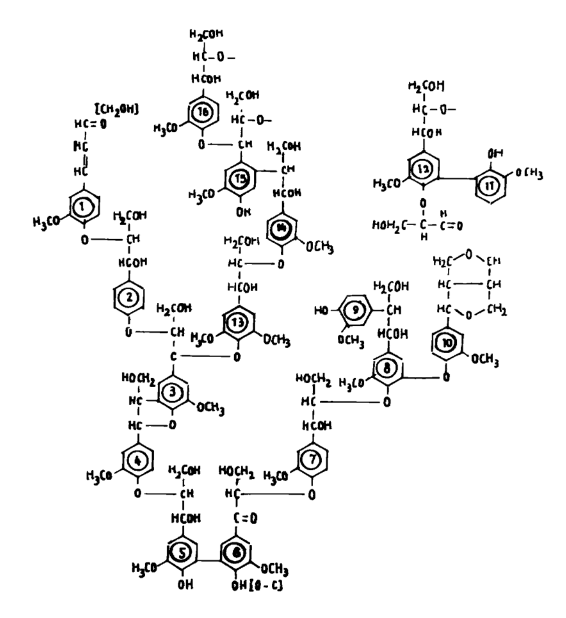
شكل ٢٣ ـ ١. بناء اللجنين

١٩٨٠م لنموذج به ٢٨ وحدة مكون كل منها من مجموعات من الوحدات ذات التسع ذرات كربـون وقـد بُني هذا النموذج على أساس تجارب تحلل (degradation) لجنين المخروطيات ثم اقْتَرَحَ حاليًا Glasser (1980) نموذجًا مبنيًا على أساس تفاعل أزدواج الأصول (radical coupling) لكحولات P-hydroxycinnamyl وبه أربع وتسعون وحدة بروبان فينولي، وزنها الجزيء سبعة عشر ألفًا، وقد اعتمد هذا النموذج على بيانات تحليلية من لجنين الصنوبر (*Pinus taeda*) وقد استخدمت في تجهيزه طرق تحليل العناصر والتحليل الطيفي H-NMR لتحديد المجاميع الفعالة وأكسدة البرمنجنات مع GC/MC من الكروماتوجرافي ثم تقويم النموذج باستخدام الحاسب الآلي لتجميع النموذج في شكله النهائي.

هذا وقد تمت دراسات عن لجنين صالدات الأخشاب أيضًا وبناء عليها اقترح Nimz في عام ١٩٧٤م نموذجًا لهذا اللجنين مبنيًا على أساس دراسات الأكسدة للجنين المطحون من أخشاب .*Betula* sp وأخشاب الزان .*Faguz* sp ، وتحصل منها على مونومرات ٤٩,٧٪ وثنائي مونومر (ديمر) ٢٥٪ وثلاثي مونومر (تريمر) ١٠,٩٪ ورباعي مونومر ٥,٣٪ من نواتج تحلل اللجنين بالإضافة إلى ٩,١٪ مركبات مختلفة البلمرة، وهذا عن طريق المعاملة بحمض thioacetic المعروف أنه يكسر الروابط من نوع الفا وبيتا بين ذرات الكربون، هذا وقد أمكن حساب نسب عشرة من الروابط بين الوحدات ذات التسع ذرات كربون في لجنين خشب الزان وبعد دراسة باستخدام H-NMR والأشعة الفوق البنفسجية وتحت الحمراء وباستخدام الكربون المشع مع تحليل NMR أمكن وضع نموذج للجنين الصالدات في الزان (شكل ٢٣ ـ جـ) وبه خمسة وعشرون وحدة بروبان فينولي، وأمكن وصف ذلك بالمعادلة

$$C_9H_{7.16}O_{2.44}(OCH_3)_{1.36}$$

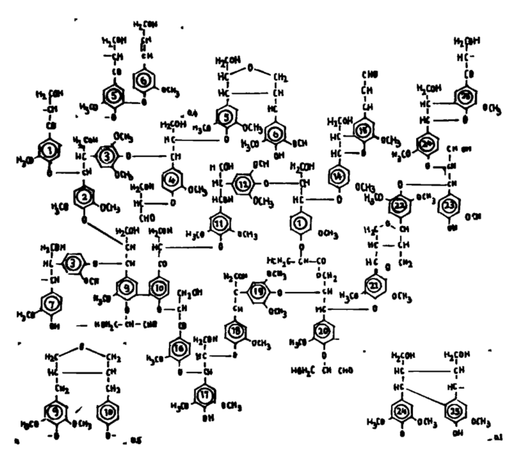
وهي قريبة من دراسات متعددة في هذا الموضوع (Fengel & Wegner, 1984) هذا وقد وجدت وحدات إضافية لما هو معروف في لجنين المخروطيات في حالة لجنين الصالدات، وهذه هي وحدات dibenzyltetrahydofuran وبها روابط جاما أكسجين وروابط بيتا ـ بيتا.



شكل ٢٣ ـ ب. لجنين. عن أدلر (Adler, 1977)

عـدم تجانـس اللجنـين

من المعروف أن هناك عدم تجانس واضح في اللجنين حسب نوع النبات والجنس والعائلة والرتبة النباتية، وقد عرف هذا منذ زمن بعيد، حيث تأكد أن لجنين المخروطيات والصالدات ذات الفلقتين كلها مختلفة عن بعضها بالنسبة لمحتواها،



شكل ٢٣ ـ جـ. لجنين نموذج نمز عن دراسات لخشب الزان. (Nimz, 1974)

وذوات الـفـلـقـة الـواحـدة من الجـواياسيل أو السـيرانجيل هيدروكسي الفينيل (P.hydroxyphenyl) وهناك طرق لإثبات هذا متعددة سواء فيزيقية أو كيميائية أو حتى هستوكيميائية (مثل تفاعل Maule اللوني) هذا وقد أدى ذلك إلى وضع تقسيم إلى لجنين النباتات حيث قسم إلى لجنين جواياسيل ولجنين سيرانجيل ـ جواياسيل حسب طبيعة الوحدات البنائية فيه، ومعظم معراة البذور تعد نموذجًا للجنين الجواياسيل مع وجود تركيزات ضعيفة من السيرانجيل الهيدروكسي فينيل ولكن بصفة عامة في الأخشاب اللينة أي بالمخروطيات، وهكذا تعد المخروطيات ذات لجنين جواياسيل وإن كانت هناك بحوثًا أُعطت بصورة مؤكدة نسبًا مثل دراسات Glasser, (1980) عن الصنوبر التي

أظهرت نسبة جواياسيل إلى سيرانجيل إلى هيدروكسي فنيل على أنها ٨٦ ٢ ١٣ وإن كانت بعض أجناس معراة البذور مثل *Podocarpus* تحوي نسبًا أعلى من السيرانجيل تصل من ٢ إلى ٦٪ وكذلك أجناس *Stangeria, Ephedra, Tetrachinis* كذلك فإن لجنين خشب الانضغاط وهو المرتفع في الهيدروكسيل فينيل.

أما لجنين صالدات الأخشاب فهو أشد تباينًا من المخروطيات، فمثلاً لوحظ أن اللجنين يحتوي على وحدات سيرانجيل بنسبة أكبر في حالة أخشاب القلب عن أخشاب العصارة كما لوحظ أن وحدات الجواياسيل ذات محتوى مرتفع في خشب الجذور عن الساق، كذلك لوحظ أن لجنين الجدر الثانوية للأوعية والصفيحة الوسطى كانا من نوع الجواياسيل في حين الجدر الثانوي للألياف والأشعة البرانشيمية مكون بصورة سائدة من السيرانجيل في حين أن لجنين أركان خلايا الألياف والصفيحة الوسطى ونسيج الأشعة الخشبية فيه جواياسيل وسيرانجيل إلا أن الدراسات الحديثة عن هذا تشير إلى أن عدم تجانس لجنين الصالدات غير مؤكد بصورة واضحة بالنسبة إلى العناصر الخلوية المختلفة في حين أن تأكيد التباين في اللجنين بين طبقات الجدار الخلوي المختلفة يعد مؤكدًا لفكرة التخليق الحيوي للجنين (Sarkanen *et al*. 1970) .

خــواص اللجنيــــن

بالنسبة للتحليل الكيميائي للعناصر يلاحظ أن اللجنين بالمخروطيات له محتوى كربونٍ يصل إلى ٦٥٪ في حين أن المحتوى الكربوني للجنين في الصالدات يصل إلى ٦٠٪ وهـذا راجـع إلى محتـوى الاكسجين العالي للجنين الصالدات نتيجة لمجاميع الميثوكسيل العديدة التي تصل إلى ٢٢٪ في حين أن المحتوى الميثوكسيلي للمخروطيات حوالي ١٦٪.

هذا ويوجد دائمًا مع اللجنين بقايا من عديدات التسكر، وهي أعلى في الصالدات عن المخروطيات، ومع هذا الاختلاط الدائم بين اللجنين ومركب عديدات التسكر المعقد فإن معرفة الوزن الجزيئي الدقيق للجنين يعد أمرًا غاية في الصعوبة، ونتيجة لحالة تعدد الانتشارية (polydispersity) فإن يجب أن نذكر كلاً من الوزن

الجزيئي العددي $\bar{M}n$ والوزن الجزيئي الموزون $\bar{M}w$ هذا ويتراوح الوزن الجزيئي الموزون للجنـين بين ٧١٠٠، ٢١٠٠٠ إلا أن هنـاك من قدره معمليًا على أنـه ٧٧٠٠٠ في المخروطيات (Fengel and Wegner, 1984) وحسب أيضًا على أنه أربعون الفًا من قبل بواسطة الباحثين أنفسهم في عام ١٩٧٧م إلا أن هناك من قدرة في متوسطات لمكونات مخففة وصلت إلى ٢٨٠٠ فقط، وعلى هذا فليس هناك متوسطات معتمدة نتيجة لعدم تجانس اللجنين المعزول من الأخشاب ومن الواضح أن هذا المدى الواسع للأوزان الجزيئية الموزونة $\bar{M}w$ للجنين راجع إلى حالة تعدد الإنتشارية (polydispersity) في اللجنين.

أما من حيث ذوبان اللجنين فإن العاملين المحددين لذوبانه هما طاقة الروابط الهيدروجينية وكثـافة طاقة اللصق (cohesive energy density) ومن المذيبات المعروفة للجنين الدايوكسين و dimethylsulfoxide والفورماميد وداي ميثيل فورماميد (DMF) و ethyleneglycol-monomethylether والبيريدين والداي كلوروايثين و acetyl bromide في حمض الخليك وهيكسافيوروبروبانول.

أما بالنسبة لامتصاص طيف الأشعة فوق البنفسجية للجنين فهذا يتوقف على صفـاتـه من حيث عدد مجاميع الـبروبـان الفينـولي والعناصر البنائية له هذا وطيف الامتصاص المميز للجنين يعطي قمة عند ٢٨٠ ميكرومتر وهناك قسمة أخرى في طيف الامتصاص تظهر عند ٢٣٠ ميكرومتر والاتجاه العام لمنحنى الامتصاص اتجاه تنازلي يصل إلى ٢٠٠ أو ٢٠٨ حيث توجد قسمة امتصاص إخرى على المنحنى.

أما منحنى طيف الأشعة تحت الحمراء فيظهر عليه مناطق محددة الامتصاص ١٤٦٠سم$^{-1}$ يتشكل ويتشوه الميثيل في الميثوكسيل بالإضافة إلى ذبذبات الحلقة العطرية.

هذا وتستخدم كثافة الامتصاص عند الموجات، محددة للتمييز بين اللجنين في المخـروطيات وفي ذات الأخشـاب الصلدة (Fengel & Wegner, 1984) هذا وتـظهر

موجات امتصاص مجموعة الكربونيل في مدى ١٦٦٠ و١٧٢٥سم -١ والوضع المؤكد لموجة الامتصاص يعتمد على ما إذا كانت مجموعة «الكربونيل» مرتبطة مع الحلقة العطرية أم لا.

هذا وقد أمكن تقسيم اللجنين عن طريق دراسة طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء بالنسبة لما يحتويه من سيرانجيل أو جواياسيل ونسبتهما، كذلك ما يحتويه من الهيدروكسي فينيل.

أما بالنسة للتركيب فوق الدقيق للجنين فقد درس حديثًا بالميكروسكوب الاليكتروني، هذا وتظهر بقايا اللجنين بعد المعاملة بالحمض في أشكال غير منتظمة تعتمد على طريقة العزل نفسها، في حين أن دراسة اللجنين بعد المعاملة بالايثانول خلال العزل تظهر في أشكال كروية بأقطار حوالي ١٠٠ nm (Fengel & Weger, 1984).

أما بالنسبة للربط بين اللجنين والكربوهيدرات فقد أصبح الآن في حكم المؤكد أنها موجودة، بل إن وجود الكربوهيدرات يعد مطلوبًا قبل بدء تكشف اللجنين في الجدر الخلوية.

هذا ولو أن الرابطة ونوعها بين اللجنين وبقية الكربوهيدرات مازال قيد البحث لتأكيد معقد اللجنين كربوهيدرات الذي يطلق عليه LCC أو في حالة تسميته بمعقد عديدات التسكر فإنه يطلق عليه LPC هذا وبرغم تأكيد وجود ترابط بين اللجنين وعديدات التسكر (أو الكربوهيدرات) في الجدار الخلوي للنسيج الخشبي إلا أن التجانس الكيميائي للمركبات المعزولة لتمثيل معقد اللجنين ـ كربوهيدرات مازل يسجل تساؤلاً بالنسبة لمدى تكراره وطبيعة الروابط الكيميائية فيه.

المستخلصات الخشبية Wood Extractive

تعرف المستخلصات الخشبية بصورة عامة على أنها تلك المركبات الموجودة بالنسيج الخشبي القابلة للذوبان بالمذيبات القطبية وغير القطبية، أو بصورة أضيق هي المركبات التي تذوب في الماء والمذيبات العضوية.

هذا ويتبـاين المحتوى الخشبي من المستخلصات بين الأجناس فهو قد يكون ١٪، وقد يصل إلى ١٥٪ في الصنوبريات (Fengel & Wegener, 1984) وقد تصل إلى ما يزيد عن ٢٥٪ في بعض الصالدات مثل الكافور (Kandeel and Kherallah, 1979) «*Eucalyptus* sp.» هذا وهـنـاك العـديد من المـراجـع التي تلخص ما عرف من المستخلصات واستعمالاتها مثل (Kandeel, 1985, Farmer, 1967, Buchanan, 1963, Hillis, 1962) .

هذا ونـلاحظ عمـومًـا أن المستخلصـات في المخروطيات تضم معظم مجاميع الـتربينـات، بينـما الصالدات تضم التربينويدات العالية في حين أن الصالدات من الأخشاب الاستوائية فيها مونوثربينات.

المستخلصات الخشبية في المخروطيـات

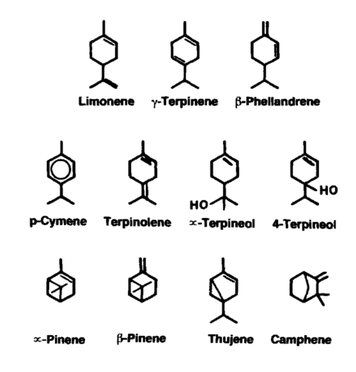
التربينات والتربينويدات Terpines and Terpenoids

تنتشر هذه المركبات في المملكة النباتية وقد عرف منها ما يربو على ٤٠٠٠ ويذكر ذلـك Fengel & Wegner, (1984) عن حسابات Cordeel في عام ١٩٧٤م. وحسب عدد وحدات الايزوتربين تقسم التربينات إلى:

- monoterpenes وبها وحدتان
- sesquiterpenes وبها ثلاث وحدات
- diterpenes وبها أربع وحدات
- sesterterpenes وبها خمس وحدات
- triterpenes وبها ست وحدات

هذا ونجـد أن الـتربينـات عبـارة عن هيدروكـربـون بينـما الـتربينـويدات «Terpinoides» هي: هيدروكربون يحمل مجاميع فعالة مثل «COOH» أو C = O أو غيرها.

هذا والمستخلص البخاري من المخروطيات والمعروف باسم زيت الخشب المتطاير (volatile wood oil) أو التربنتين (turpentine) يتكون أساسًا من التربينات الأحادية أو مونوتربين مثل «beta, α - pinene» منه و «limonene» (شكل ٢٤) وتباين نسبة كل منها من جملة التربينات بين الأجناس المختلفة، هذا ومن ضمن التربينات



شكل ٢٤ . نموذج لأحاديات التربين (مونوتربين)

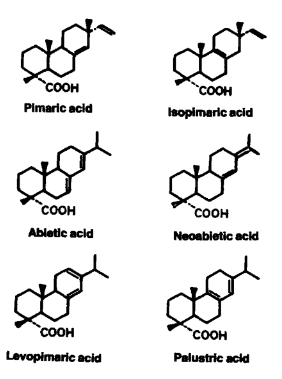
النادرة المونوتربين المكون من حلقة سباعية التي يشار إليها بأنها مشتق Tropolone مثل حمض الثويا والثويابليكان الموجودة في عائلة Cupressaceae مثل جنس الثويا. «*Thyja* sp.» (شكل ٢٥) وبعضها أساسي في جعل الخشب مقاومًا للنمل الأبيض.

COOH O OH

Thujic acid β-Thujaplicin

شكل ٢٥ . نموذج لأحاديات التربين من التروبولون

هذا وتوجد من ضمن المستخلصات في المخروطيات مجموعة تنتمي إلى الـ «ses-quiterpenes» (شكل ٢٦) «مثل gemacrene, cadiol, longipinene, farnesene, هذا وقد عزلت مشتقات «tropolones» من جنس السرو (*Cupressus*) ومن جنس العرعر،



شكل ٢٦ . داي تربين حمض (الحموض الراتنجية)

وتبلغ نسبة الـ sesquiterpene من ١-٥٪ من جملة أحادي التربين (monoterpene) في المخروطيات هذا ويوجد أيضًا (Diterpenes) في جزء Oleoresin بالمخروطيات بالإضافة إلى حموض التربينويد والشموع وبعض الكحولات.

هـذا وقـد لوحـظ خـلال دراسـة توزيع الحموض الراتنجية فـي *Picea abies* مـن القلـف إلـى النخـاع أن هنـاك تباينًـا فـي نوعيـة وكميـة المستخلصـات مـن هـذه المجموعـة حيـث يوجـد نقـص ملحـوظ مـن الخـارج إلـى الداخـل فـي كميـة الحمـوض levopimaric, palustric, abietic, neoabietic, بمعنى أنها كانت تنقص من خشب العصارة إلى خشب القلب كما وجد نمط معاكس في حموض dehydroabietic

ويذكـر ذلـك Fengel & Wegener, (1984) عـن Ekman فـي عـام ١٩٧٩م هـذا وهنـاك بعـض الـ «diterpenes» نـادرة التواجـد فـي الأخشـاب المخروطيـة مثـل taxusin, lambertianic وغـيرهـا كما توجـد حلقـات فينـولية معلقـة على بعض الـ diterpenes مثل ferruginol . كذلك يوجد triterpenes في مستخلصات المخروطيات ومعـظمهـا من مجمـوعـة الـ steroides مثـل serratenediol هذا والمركب الرئيس في مجموعةالـ steroid في المخروطيات هو: B-sitosterol (Hillis, 1972) .

الشمـوع والدهـون ومركباتها

يصـل المحتوى من الدهون ٣,٠ـ٤,٠٪ والمحتوى من الشموع من ٠٨,٠ إلى ٠٩,٠ من الوزن الجاف للخشب في المخروطيات.

كذلـك توجـد حموض دهنية وكحولات ومعظم الحموض الدهنية في الخشب مشبعة وتضم ١٦ـ٢٢ ذرة كربون وقد يصل العدد إلى ٣٠ ذرة كربون وفي المتوسط تضم حوالي ١٨ ذرة ومن أمثلتهـا 5,9,12, octadecatrienic كما توجـد كحـولات حرة أو مرتبـطة بالشموع وهذه ذات سلاسل استقامية تتراوح بين ١٦ـ١٨ ذرة كربون ومن أمثلتها «be-henic alcohol (I-docosanol)» كما وجدت كحولات أعلى من هذا في أخشاب الصنوبر الجنوبي الأمريكي.

المركبات الفينوليـة

تحتـوي المستخلصـات الخشبيـة للمخـروطيـات علـى عديـد مـن المركبـات الـفينـولـية، وبـعضهـا متبقيات لعمليـات التخليـق الحيـوي للجنيـن فـي هـذه الأخشـاب ومـن ضمـن هـذه المركبـات coniferyl aldehyde, vanilin coniferin, p-ethylphenol, guaicylglycerol, و syringin وتوجد في المخروطيـات خاصـة جنـس *Picea* والصنوبـر كمـا وجـدت متبقيـات مـن quinol, hydroquinone فـي خشـب القلـب بالمخروطيات (Fengel and Wegner, 1984) كذلك توجد مجموعات الـ lignans (شكـل ٢٧) وهي مركبـة من وحـدتين بروبان فينولي وتوجد بكثرة في مستخلصات أخشـاب المخروطيات ومن أمثلتها lignans thujaplicatin plication, وحمض plicatic كذلك فقد وجد أن استخلاص العقد الموجودة في أشجار الأروكاريـا (*Arakcaria* sp.)

احتوت على ٩٠٪ lignans وعمومًا فتعد الـ lignans من ضمن مركبات مستخلصات خشب القلب في المخروطيات كذلك فإن تكونات الكالس في العبروس تحوي أيضًا lignans هذا ويوجد أيضًا مجموعات الـ stilbines (شكل ٢٨) في أخشاب القلب للمخروطيات ومن أمثلتها pinosylvin وجليكوسيدات الاستلبين مثل piceid كذلك يوجد مجموعات من الـ flavonoides في مستخلصات المخروطيات (شكلي ٢٩، ٣٠) ومن أمثلتها taxifoin كذلك فإن الـ phlobaphenes ينتمي لهذه المجموعة ويعتبر الكاتكين هذا من التانينات المتكثفة (Hillis *et al*, 1974) .

هذا وتوجد مجاميع أخرى في مستخلصات أخشاب المخروطيات جميعها توجد بكميات ضئيلة ومن أمثلتها N-alkanes ومشتقات الـ ethine وغيرها كالبروتينات الموجودة بقلة في بعض الصنوبريات.

المستخلصات الخشبية في ذوات الأخشاب الصلدة

التربينات والتربينيدات Terpenes and Terpenoides

من بين أحاديات التربين (monoterpenes) الموجودة في ذات الأخشاب الصلدة الأستوائية الكافور (camphor) الموجودة في أخشاب أشجار القرفة (*Cinnamomum camphora*) وتوجد الـ sesquiterpenes بقلة في بعض أخشاب المنطقة المعتدلة ومن أمثلتها الـ calaweene والـ cadalene ومثل الـ manones الموجودة في أشجار الإلم (elm) وأخشاب القلب في المانسونيا الاستوائية (*Mansonia altissima*) وتوجد الـ sesquiterpenes بكثرة في الأخشاب الاستوائية مثل خشب الصندل (*Santalum album*) الموجود فيه بكثرة مركبات الـ B-santalol ويصل إلى ٩٠٪ من زيت الصندل (sandel oil) هذا والـ triterpenes موجودة بكثرة في عديد من صالدات الأخشاب من المنطقة الاستوائية أو المنطقة المعتدلة ومن أمثلتها الـ glivanol, taraxerol, betulin في أخشاب السنديان (oak) .

هذا ويوجد عديد من الـ triterpinenes في راتنجات الأخشاب الاستوائية مثل amyrins الموجودة في أخشاب المطاط الطبيعي (*Hevea braziliness*) ومن ضمن هذه

شكل ٢٧ . مستخلصات اللجنانات من المخروطيات

Pinosylvin

Pinosylvin dimethylether

Piceid

شكل ٢٨ . الاستلبينات من أخشاب المخروطيات

Chrysin

Taxifolin

Pinocembrin

Pinostrobin

Catechin

شكل ٢٩ . الفلافونيدات من مستخلصات المخروطيات

H3CO O O O O HO OH OH OH O O

Pterocarpin Mopanol

شكل ٣٠. فلافونيدات ذات حلقة إضافية

المجموعة يوجد الـ steroides في صالدات الأخشاب (كما هي في المخروطيات) ومن أمثلتها B-sitosterol وبعض steroides توجد في تكوينات استر مع الحموض الدهنية وهذه المجموعة من triterpenes, steriodes . عمومًا تمر بالأخشاب خلال عملية اللب بأنواعه، وتظل في الألياف حتى عملية التبييض وهي المسؤولة عن اصفرار لون اللب الناتج (Lindgren, 1967) هذا وتحتوي صالدات الأخشاب الاستوائية على جليوكوسيدات من التراي تربين والاستيرويد (triterpines & steroides) وتكون محلولاً رغويًا مع الماء، وتسمى saponins وجليوكونات الصابونين هذه تعرف باسم sapogenins .

هذا ويوجد الصابونين في أخشاب عدة مثل أبو فروة (chestnut) الموجود به aescin في المكوري الأفريقي (thieghemella) وبه sapogenim ، وتعد مجموعات الصابونين أيضًا مسؤولة عن مناعة بعض الأخشاب، ومقاومتها لإصابة النمل الأبيض والفطريات مثل أخشاب Zapote (*Mamilkara Zapota*) وبعض هذه المركبات له تأثير سام أو مخدر على الأسماك (Fengel and Wegener, 1984) .

هذا وهناك مجموعات أعلى في محتواها الحلقي عن التراتربين، وهي المحتوية على أكثر من ست وحدات ايزوبرين وتعرف باسم polyprenes ومن أمثلتها cantchonc, tutta وهي بوليمرات تختلف فقط في تشكيل سلاسلها، ومن ضمن الأخشاب التي تحتويها *Terminalia superba* والتيك (*Tectona grandis*) .

الدهون والشموع ومكوناتها

تحتوي مستخلصات صالدات الأخشاب على هذه المركبات (مثل المخروطيات)

ومعـظم الحمـوض الـدهنية المعزولة من الحور والسنديان والبتولا تنتمي إلى مجموعة triglycerides .

هذا وتصبن الجليسروليدات في السنديان الأبيض «*Q. alba*» يعطي ٧٥٪ linoleic و١٠٪ stearic و١٠٪ palmitic .

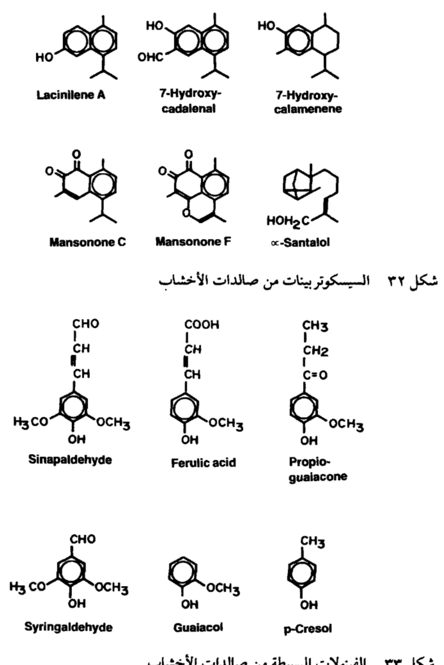
كذلـك فإن حمضـا الـ palmitic, linoleic توجد في مجموعة الحموض الدهنية الموجودة في الكافور *E. globulus* ، كما أن حمض الـ linoleic هو الحمض الرئيس في الشموع بأخشاب الحور *P. tremuloides* .

الفينولات واللجنان والكيونون Phenols, Lignans and Quinones

مثل المخروطيات فـإن مستخلصات الأخشـاب الصلـدة تحتـوي فينولات ذات وزن جزيئـي صغـير مثـل P-hydroxybenzoic و vanillic, و syringic وحمـض lerulic و vanillin و syringaldehyde والمـوجـودة في جنس الجـوز والـصفصـاف (Buchanan, 1963) كما وجد في Sinapaldehyde المستخلص بالماء الساخن من أخشاب الكافور كذلك فإن اللجنان (lignans) والموجودة بكثرة في المخروطيات توجد أيضًا في الصـالـدات، وتـوجـد بعضهـا مرتبـطة بسكـريات مثـل الرافنوز والمانوز في شكل جليكوسيدات ومن أمثلة اللجنان مجموعة α - guaiaconic الحامضية التي تعطي صبغة الجوايكيم المعروفة، وهي موجودة في أخشاب جنس *Guaiacum* الاستوائي (شكل ٣١).

شكل ٣١. الهياتوكسيلون

أمـا الكيونـون (quinones) فمنهـا Q. sesquiterpines المـوجـودة في أخشـاب المانسوينا الأفريقية وغيرها وتوجد الـ quinones في أخشاب التيك والسرسوع Dalber-gia (شكلي ٣٢، ٣٣).



شكل ٣٢ السيسكوتربينات من صالدات الأخشاب

شكل ٣٣. الفينولات البسيطة من صالدات الأخشاب

التانينات والفلافونيدز Tannins and Flavonoides

تعـد التـانينـات النبـاتية عبـارة عن فينـولات بسيطة، أو فلافونات متكثفة، (شكلي ٣٤، ٣٥) ويمكن تقسيم التانينات إلى تانينات متحللة مائيًا (hydrolyzable) وغير متحللة مائيًا ومتكثفة (condensed) أي (phlobaphenes) والتانينات المتحللة مائيًا هي استرات لحموض الجاليك وتنائيات بلمرته مع أحاديات تسكر مثل الجلوكوز كما توجد الفينولات من نوع aglycones في تركيزات بسيطة بأخشاب السنديان والكافور وعادة تقسم التانينات المتحللة مائيًا إلى gallotannins تعطي حمض gallic بعد التحلل،

Vescalin

Castelagin

Eucalyptus ellagitannins

شكل ٣٤. بعض تانينات الصالدات

شكل ٣٥. تركيب التانينات المتكثفة

وإلى ellagitannins تعـطي حمض ellagic بعـد تحللهـا وميثيـلات حمـض ellgic وحمـض ellagic نفسه يعد من مكونات تانينات أخشاب الكافور (Hillis, 1972) والتانينات عادة ما تقـاوم فعل سوائل الطبخ في طريقة الصودا القاعدية (Hillis, 1974) والمكونات الرئيسة للتانينات المتكثفة تشمل catechins والـ leucoanthocyanidine وهذه المركبات تنتمي إلى مجموعة الفلافونيدز (شكل ٣٦) (flavonoides) وهي تشتق من flavon الذي يعد

Basic structure	OH-(OCH$_3$)-position	Name	Occurrence
flavones	3,7,3',4'	fisetin	*Acacia, Rhus, Schinopsis*
	3,5,7,4'	kaempferol	*Afzelia*
	3,7,3',4',5'	robinetin	*Acacia, Robinia, Schinopsis*
	3,5,7,3',4'	quercetin	*Acacia, Aesculus, Quercus*
	3,5,7,2',4'	morin	*Chlorophora*
flavanes	3,7,3',4'	fisetinidol	*Acacia*
	3,4,7,3',4'	mollisacacidin	*Acacia, Gleditsia*
	3,5,7,3',4'	catechin	*Acacia, Schinopsis*
	3,4,5,7,3',4'	leucocyanidin	*Schinopsis*
flavanones	7,3',4'	butin	*Acacia*
	3,7,3',4'	fustin	*Acacia, Schinopsis*
isoflavones	5,4',(7)	prunetin	*Prunus Otericaroys*
	5,3',4',(7)	santal	*Pterocarpus, Santalum*

Basic structure	OH-(OCH$_3$)-position	Name	Occurrence
chalcones	3,4,2',4'	butein	*Acacia, Pseudosindora*
	3,4,2',3',4'	okanin	*Cyclicodiscus*
	α,3,4,2',4'	pentahydroxy-chalcone	*Peltogyne, Trachylobium*
aurones	6,3',4'	sulfuretin	*Pseudosindora*
	6,3',4',(4)	rengasin	*Melanorrhoea, Pseudosindora*
	2,6,3',4'	Tetrahydroxybenzylcoumaranone	*Schinopsis*
	2,6,3',(4')	methoxy trihydroxybenzylcoumaranone	*Schinopsis*

شكل ٣٦ . الفلافونيدات بصالدات الأخشاب، (عن Fengel & Wegner, 1984).

ثنائيًا phenyl benzopyrene وهناك مشتقات عديدة من الفلافون مثل flavanones, flavanes و isoflavones وكلها تحتوي حلقات pyrane وإذا احتوى المركب على حلقة pyrone مفتوحــة يسمــى chalcones ، والمحتــوى علــى حلقــات furanone يسمــى chalcones ، والمحتــوى على حلقـــات furanone يسمى aurones . هذا ويحتــوي مسـتخلص الأخشـــاب الملونـــة عادة على flavonoids ، (شكـــل ٣٧) وتستخـــدم

Berberine

Quinine

Strychnine

شكل ٣٧ . الألكالويدات من صالدات الأخشاب

مستخلصاتها صبغات طبيعية وعادة يتكون لها اللون بعد تفاعلات عقب المعاملة مثل أكسدة الهيماتوكسيلون (haematoxylin) لتعطي haematein (شكل ٣١).

هذا وتستخدم التانينات المتكثفة لتعطي فينولات بسيطة ولواصق لصناعة الخشب الحبيبي والابلكاج عن طريق عملية تكثيف ذاتية، أو تكثيف مع الفورمالدهيد أو عملية كبرته.

مركبات مختلفة

توجد مركبات أخرى مختلفة في مستخلصات صالدات الأخشاب من مجموعة الهيدركربونات المشبعة، ويمكن إنتاج الاثين (ethene) من خشب القلب في الجوز الأمريكي (*Juglanus nigra*) والميثان (methane) من خشب القلب في الجوز والصفصاف و ulmus عن طريق الإصابة ببكتريا لا هوائية.

هذا ويحتوي خشب القلب على كمية أقل من السكريات عن خشب العصارة كمستخلصات، كذلك توجد بعض الحموض الأمينية في خشب السنديان والكافور وعمومًا فإن المحتوى النتروجيني للأخشاب وإن كان مصدره ليس راجعًا كله إلى البروتينات، بل قد يوجد في الأخشاب الاستوائية (alkaloıdes) (شكل ٣٧) مثل berberine في جنس *Berberis* و quinine في جنس *Cinchona* sp. و*Liriodenine* في عائلة magnoleaceae .

المكونات غير العضوية:

Inorganic Contents

كذلك يوجد مكونات غير عضوية في الأخشاب، وهي تظهر في الرماد خلال التحليل الكيميائي للعينات الخشبية، هذا والمحتوى المعدني للأخشاب ضئيل حوالي ١,٠٪، ومعظم مكونات الرماد من الكالسيوم والبوتاسيوم والمغنسيوم، وفي معظم الأخشاب فإن الكالسيوم يصل إلى ٥٠٪ من جملة المحتوى المعدني (Fengel & Wegener, 1984).

تكوين المكونات الكيميائية بالنسيج الخشبي

Biosynthesis of Chemical Constituents in Wood Tissue

إن إدراكنـا لطبيعة تركيب الجدار الخلوي والنسيج الخشبي يقودنا مباشرة إلى تصور مدى تعقيد عملية تكوين وتخليق التراكيب الكيميائية المعقدة من بلمرات عالية لتعطي في النهاية هذا النسيج الخشبي، إذ إن أي نظام مقترح لشرح هذه العمليات يجب أن يأخـذ في الحسبـان كيفية وضـع وتـرتيب سلاسـل السليولـوز مع اللجنين والبوليوزس المختلفة بالنسيج الخشبي، وللأسف فهناك القليل فقط المعروف عن هذه العمايات كلها إلى الآن.

وإذا أخـذنـا في الاعتبار أن السليولوز وحده له طريقان للتكوين ففي الجدار الابتدائي يتكون سليولوز منخفض الوزن الجزيئي ذو درجة بلمرة من ٢٠٠٠-٦٠٠٠ فقط في حين أن السليولوز بالجدار الثانوي تصل درجة بلمرته إلى ١٣٠٠٠ (Shafizadeh & McGinnes, 1980).

هذا وتعـد النيوكليوتيدات السكـرية sugar nucleotides هذه بواديء تكـوين الكربوهيدرات المكونة بالجدار الخلوي، وهذه النيوكليوتيدات تتكون عن طريق الترابط بين purine أو pyrimidine والسكريات وهذه المجموعات بدورها يتم استرتها بحمض الفوسفوريك.

هذا ونـوعـا النيوكليوتيدات التي وُجـد أنهما مهمان في عملية التخليق الحيوي للسليولوز هما:

1- uridine,5 (∝ - D - glucopyranosyl phosphate) UDP-D glucose.

2-cyabistubem 5 (∝ - D - glucopyranosyl phosphate) (GDP-D-glucose

هذا وكان أول تقارير عن عزل جزيئات شبيهة بالسليولوز عن طريق العالم Glasser الذي أمكنه تحضير هذا من بكتريا *Acetobacter xylinum* من خلال تحضيرات

أنزيمية من هذه البكتريا عولجت بها مجموعات D-glucopyranose من UDP-D clucose فأعطت سليولوز، ومنذ هذا البحث هناك بحوث عديدة عن هذه الأنظمة حرة الخلايا (cell-free systems) التي أعطت تركيب شبه سليولوزي .

هـذا ويعد البادىء للبوليوزس (هيمسليولوز) أيضًا نيوكليوتيدات، وقد وجد أن الزيلان يتكون من UDP-D-xylose ، والأرابينوز من UDP-D-xylose, UDP-L-arabinose ، أما الجلوكومانات فقد وجد أن تخليقه ينشأ من خلال باديء هو GDP-mannose مع GDP-glucose هذا ونتيجـة لعـديد من الـدراسات المؤيدة لأن بواديء عديدات التسكـر بالخشب هي نيوكليوتيدات فقـد اقـترح Hassib أن تكون السليولوز يأخذ شكل المعادلة الآتية في النباتات الراقية :

$$GTP + \alpha\text{–D–glucopyranosyl pyrophosphorylase} \rightleftharpoons GDP - \text{D–glucose} + PPi$$

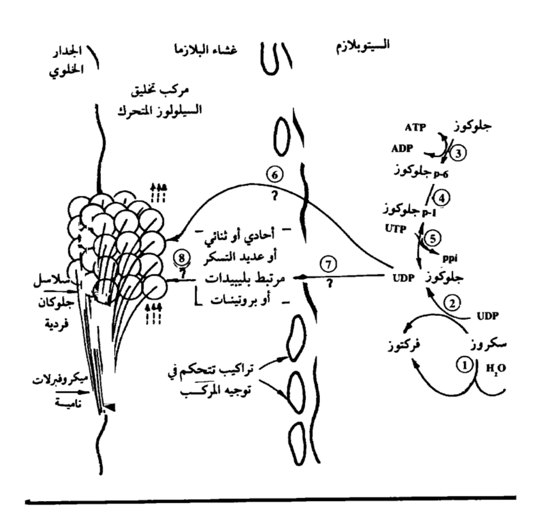
$$n(GDP\text{–D–glucose}) + \text{acceptor glocotransferase} \rightleftharpoons \text{acceptor} - ((1\ 4)\text{–}4)\text{–B–D–glucosyl}))_n + n(GDP)\ \text{cellulose}$$

وغـير واضـح في هذا الاقـتراح ما إذا كانت النيوكلوتيدات السـكـرية هي معـطيات الجليكوسيل خلال هذه العمليات أم أنها تمر بصور وسطى مثل جليكوليبيدات (glycolipid) وقد اقترح هذا Colvin, (1964) وغيره فاقترح أن الجليكوسيل يتحول من nucleoside D-glucose pyrophosphate إلى glycolipid في الغشـاء السيتـوبـلازمي للخلية وإن الـ D-glcosyl تنتقل بعد هذا خارج الخلية، وهكذا يعمل الجليكوليبيدات كحامل من داخل الخلية إلى خارجها، حيث يتم بلمرة الـ D-glucosyl لتعطي سليولوز.

هذا وقد عملت أبحاث عديدة لتحديد الموقع الذي يتم فيه تخليق عديدات التسكـر بالجـدار الخلوي ومعـظمها تشير إلى أن البوليوزس (هيمسليولوز) والبكتين

تتخلق في أجسام جولجي (Golgi bodies) في حين أن تخليق عديدات التسكر يتم خارج السيتوبلازم في منطقة غشاء البلازما (plasma membrane) في مواقع تكوين الميكروفبرلات .

وبهـذا يتم تخليق السليولـوز في المنـطقة عند تلاقي الجدار الخلوي مع غشاء البـلازما وقد اقترح (1980) Delmer نموذجًا بشرح خطوات تخليق السليولوز وموقعه (شكل ٣٨) وفيه فإن الجلوكوز (UDP-glucose) يتخلق في السيتوبلازم بأنزيمات سيتوبلازمية .



شكل ٣٨. النموذج المقترح لتخليق السليولوز حيويًا في النباتات (عن Delmer, 1980)

وهـذا الشكـل النشط من الجلوكوز ينتقل مباشرة إلى السلاسل من الجلوكان النامية إلى تحت وحدات (sub-units) من السليولوز المخلق في غشاء البلازما.

وبالتبادل يحدث نقل لمتبقيات الجلوكوز من جلوكوز UDP إلى lipid أو بروتينات وسطية يحدث بعدها نقل إلى سلاسل الجلوكان النامية في الفبرلات، وهذه السلاسل ترتبط معًا بالروابط الهيدروجينية لتكون فبرلات، وفي الشكل السابق رقم ٣٨ فإن الأرقام تشير إلى التفاعلات التي يدخل فيها عوامل أنزيمات مساعدة كمايلي:

١- invertase ، ٢- sucrose synthetase ، ٣- hexokinase ،
٤- phosphoglucomutase ، ٥- UDP-glucose pyrophosphorylase و٦، ٧، ٨ تفاعلات فرضية تقود إلى السليولوز (PPi تشير إلى pyrophosphate) .

هذا ومن غير المعلوم كيف تتحكم الخلية فـي حجـم البوليمر المتكون وكيفية تشكيلهـا للميكروفبرلات. هـذا وقـد اقتـرح العالم Preston (1965) أن هناك مواقع قالبية (template) يتم فيهـا تكـويـن جزيئـات مـن السليولوز كخطوة وسطيـة قبـل تكويـن السلاسـل السليولوزية والميكروفبرلات وقـد أيد هـذا Muhlethaler واقتـرح أن تكويـن سلاسـل السليولوز والميكروفبرلات يتـم بتخليق حيـوي عنـد النهايـات (end-wise synthesis) وهكـذا فإن فرض القوالب (templates) هذا يمكن من شرح الوزن الجزيئي المضبوط واتجاه الميكروفبرلات وتشكلها.

أما التخليق الحيوي للجنين وبوادئه فيمكن أن نذكر أن دور كحول الكونيفريل (coniferyl) قد تأكـد بعـديد من الأبحـاث التي تستخدم الكربون المشع (^{14}C) هذا وبـواديء اللجنـين جميعًـا P-coumaryl, conferyl, sinapyl كحـولات «الكونوفيريل» تتكون من الجلوكوز عن طريق عديد من التفاعلات الأنزيمية والجلوكوز المتكون من عملية البنـاء الضـوئـي ينتقـل أولاً إلـى فوسفـات هيبتوز تتحـول فيمـا بعـد إلـى حمـض S-dehydroquinic ويقـود التفـاعـل إلى تكـوين phenylamine مع حمض shikimic و phenylpyruvic (وإن كان اللجنين يتكون بصورة مغايرة في الحشائش من

خلال tyrosine) وهـذه البـوادىء جميعًا يعتقد وجودها في منطقة الكامبيوم في حالة المخروطيات على صورة جليكوسيدات تتحرر بواسطة فعل B-glucosidase هذا وتعد الدراسات التي أجراها Erbtman في عام ١٩٣٠م ذات أهمية خاصة في دراسة وتوضيح كيفية تكشف اللجنـين وتخلقـه الحيوي، وبعـد هذا أوضحت ذلـك دراسـات Freudonberg الـتي أجـراهـا في الفـترة من ١٩٤٠-١٩٧٠م ويتضـح مـن هـذه الـدراسـات أن التفـاعـلات الأنزيميـة (dehydrogenation) تبدأ بنقل اليكترون مما يؤدي إلى تكوين أصول فينوكسيل (phenoxyl radicals) ينتج عن اتحادها ثنائيات تبلمر (dimers) متعـددة بالإضافة إلى oligomers تسمى lignols ويمكن تصور كيف تعود الأكسدة المزدوجة والاتحادات المتتالية إلى تكوين مركبات بها عديد من المواقع الجانبية غير المشتقة إلا أن التفاعل يستمر بشكل بلمرة نهايات (endwise plymerization) .

وهكذا فإن البوادىء المونومرية تتحدد عند نهاياتها مع بعض والتوفيقات المختلفة الممكنة للأصول المونومرية عند نهاياتها بمجاميع فينولية بروابط B-5,B-0-4 قد تقود إلى بوليمر استقامي (يعكس اللجنين) إلا أن تفرع البوليمر هنا يحدث من خلال تكوينات بنزيل وايثير بالإضافة إلى التفريع الإضافي نتيجة للازدواج مع 5,5 إلى وحدات biphenyl و 5-0-4 إلى وحدات diaryl ether يقود إلى تفرع أكثر في البوليمر الناتج، هذا وقد أوضح Harkin and Obst (1972) أن أنزيم البيروكسيداز (peroxidase) يعد مسؤولاً عن آخر خطوات اللجننة في الأخشاب.

وهذا هو الأنزيم المسؤول عن تحول كحولات الكوماريل (P-coumaryl) إلى لجنين.

المراجـع

Adler, E. 1977. Lignin Chemistry - Past, Present and Future. *Wood Sci. Technol.*, 11, 1969-218.

Aspinal, G.O. 1973. Carbohydrate Polymers in Plant Cell Walls. In: F. Loews, (Ed.) *Biogensis of Plant Cell Wall Polysaccharides.* Academic Press. New York. pp. 95-115.

Browning, BIL. 1967. *Methods of Wood Chemistry,* Vol. I, II, Wiley, Interscience. New York.

Buchanan, M.A. 1963. Extraneous Components of Wood. In: B. Browning, (Ed.) *The Chemistry of Wood.* J. Wiley - Interscience Publishers. New York. pp. 313-368.

Clermont, L.P. and F. Bender, 1961 Pulp and paper. *Mag. Can.* 62 No.1 T28.

Colvin, J.R. 1964. The biosynthesis of cellulose. In: M. Zimmerman (Ed.) *The Formation of Wood in Forest Trees.* Ac. Press. pp. 189-201.

Côté, W.A. Jr. 1965. *Cellular Ultrastructure of Woody Plants.* Syracuse univ. Press. New York.

Delmer, D.P. 1980. *Cellulose synthesis. CRS Hand book Serie of Biosolar Resources.* Vol. 1. *Basic Principles.* Black, C., A. Mitsui and O. Zaborsky (Eds.). CRS, Boca Raton. Florida.

Farmer, R.H. 1967. *Chemistry in the Utilization of Wood.* Pergamon Press. New York. p. 193.

Fengel, D. and Wegener G. 1984. *Wood, Chemistry, Ultrastructure, Reactions.* Walter de Gruyter. Berlin. p. 613.

Freudenberg, K. 1959. Biosynthesis and Constitution of Lignin. *Chem. Ber.,* Vol. 92, No. 9: 89-98.

Freudenberg, K. 1968. The Constitution and Biosynthesis of Lignin. In: Freudenberg. and A. Neish, (Eds.) *Constitution and Biosynthesis of Lignin.* Springer - Verlag. New York. pp. 44-122.

Frey-Wyssling, A. 1959. *Die Pflanzliche Zellwand.* Springes Verlag. Berlin.

Frey-Wyssling, A. 1964. Ultraviolet and Fluorescence Optics of Lignified Cell Walls. In: M., Zimmermann, (Ed.). *The Formation of Wood in Forest Trees.* Academic Press. New York.

Glaser, W.G. 1980. Lignin, In: J.P. Casey, (Ed.) *Pulp and Paper chemistry and Chemical Technology.* J. Wiley - Interscience. New York. pp. 39-111.

Harkin, J.M. and Obst J. 1972. Note on initial step in lignification. *For. Prod. J.* Vol. 22. No. 5.

Hillis, W.E. 1962. *Wood Extractives and Their Significance to the Pulp and Paper Industries.* Academic press. New York.

Hillis, W.E. 1972. Formation and Properties of Some Wood Extractives. *Phytochem.*, Vol. 14 No. 4: 1007-1218.

Hillis, W.E., Hart J. and Yazaki Y. 1974. Polyphenols of *Eucalyptus Sideroxylon* Wood. *Phytochem.*, Vol. 13, 1591-1595.

Hearle, J.W. 1963. The Fine Structure of Fibers and Crystalline Polymers. *J. Appl. Polymer. Sci.*, 7: 1175-1192.

Immergut, E.H. 1963. Cellulose, In: B. Browning, (Ed.). *The Chemistry of Wood.* Interscience. New York. pp. 103-190.

Johansson, M. and O. Samuelson. 1977. Reducing end Groups in Birch Xylan. *Wood Sc. & Tech.*, 11: 251-263.

Kandeel, S.A.E., 1969. *Submicroscopic Structure and Chrystallinity of Wood Cellulose.* School of Forestry, Univ. of Missouri. pp. 22.

Kandeel, S.A.E. and Kherallah I. 1979. Prediction of the Masgnitude and Variation in Extractive Content within Fast Growing Eucalyptus Using Polynomial Models. *F.P.R.S. 33rd Ann. Meeting, Chemistry Session.*

Kandeel, S.A.E. 1985. Chemical and Pharmaceutical Forestry Products. *Item II. 2. 5. of the IX World Forestry Congress of FAO.* Mexico City.

Kandeel, S.A.E.; A. Abohassan; H. Aly and I. Kherallah. 1987. The potentiality of Using *Juniperus Prolera* of the South Western Foresto for Kraft Pulp production. *J. Coll. Agric. KSU. Saudi Arabia* 9(1), 89-98.

Kollmann, F. and Côté W.A. 1968. *Principles of Wood Science and Technology.* Springer Verlag. New York. p.592

Lang, C., Bassett, K. McGinnes E.A. and Marchessault R. 1960. Infrared spectra of crystalline polysaccharides. VII Thin Wood Sections. Tappi, (Technic. Assoc. Pulp and Paper Indust.,) Vol 43. No. 12: 1017-1024.

Lindgren, B.O. 1967. Svensk papperstid. 70: 532-536.

Manley, R. 1963. Growth and Morphology of Single Crystals of Cellulose Triacetate. *J. Polymer Sci.* Part A. No.1: 1875-1892.

Manley, R. 1965. The Molecular Morphology of Native Cellulose Pulp & Paper *Res. Inst. of Canada.* Vol. 5.

Mark, R. 1967. *Cell Wall Mechanics,* chapt. 8. Yale University Press. U.S.A. pp. 187-211.

Marchessault, R. and Lang C. 1962. The Infrared Spectra of Crystalline Polysaccharides VIII. Xylans. *J. Polymer Sci.* 59: 357-378.

McGinnis, G. and Shafizadeh, F. 1980. Cellulose and Hemicellulose. In: J. Casey, (Ed.) *Pulp and Paper Chemical Technology.* Wiley - Interscience. New York. pp. 1-38.

Meyer, K. and Misch, L. 1937. Position des Atomes dans le nouveau Modile Spatial de la Cellulose. *Helv. Chim. Acta.* 20, pp. 232-244.

Muhlethaler, K. 1965. The Five Structure of the Cellulose Microfibril In: W.A. Côté, (Ed.) *Cellular Ultrastructure of Woody Plants.* Syracuse Univ. Press. New York. pp. 191-198.

Nimz, H. 1974. *Cited in Wood Chemistry, Ultrastructure and reactions by Fengel and Wegener.* (Chap. 6.) W. de Gruyter Berlin. New York.

Ott, E., Spurlin, H.and Graffin M. 1954. *Cellulose and Cellulose Derivatives.* Parts I, III. 2nd ed. Wiley - Interscience. New York.

Pearl, I. 1964. Lignin chemistry, century old pwzzel. *Chem. & Eng. News.* 42 No. 27, pp. 81-93.

Preston, R. 1965. Interdisciplinary Approaches to Wood Structure. In: W. Côté. (Ed.) *Cellular Ultrastructure of Woody Plants.* Syracuse Univ. Press. N.Y. pp. 1-33.

Ranby, B. 1958. The five Structure of Cellulose fibrils. In: F. Bolam, (Ed.) *Fundamentals of Paper Making Fibers.* pp. 55-82.

Sakakibara, A., Miki K. and Takahashi H. 1982. Lignans, Braun's Lignin and Cell Wall Lignim. In: The Ekman Days, *1981 Int. Symp. Wood pulp. Chem. Stockholm.* Vol. 1. pp. 73-80.

Sarkanen, K. and Ludwig, C. 1971. *Lignins.* Wiley - Interscience. New York.

Sjostrom, E. 1980. *wood Chemistry, Fundamentals and Applications.* Academic Press. New York.

Stamm, A. 1964. *Wood and Cellulose Science.* Roland Press. New York. p. 264.

Timell, T. 1965. Wood and Bark Polysaccharides. In: W. Côté, (Ed.) *Cellular ultrastructure of Woody Plants.*Syracuse Univ. Press. New York. pp. 127-155.

Wenzl, H. 1970. *The chemical Technology of Wood.* Ac. Press. New York.

Wise, L. and John E. 1952. *Wood Chemistry,* Reinhold. New York. Vol. I. chap. 5, 6, 10, 11 and 12-17.

Wise, L., Murphy M. and D'Addicco A. 1946. Chlorite Holocellulose, its Fractionation and Bearing on Summative Wood Analysis and on Studies on the Hemicellulose, *Paper Trade J.* 122 No. 2, pp. 35-43.

Whistler, R. and Wolform M. 1965. *Methods in Carbolydrate Chemistry.* Vol. V. General Polysaccharides; Cellulose Preparation, chemical and Physical Analysis. Ac. Press. New York. pp. 3-189.

العيوب الطبيعية والنموية والحالات الشاذة في الأخشاب

Natural and Growth Related Defects and Abnoermalties in Wood

● عيوب اتجاه الألياف في الأخشاب وترتيبها ● الإجهادات النموية في الأخشاب ● العقد الخشبية ● جيوب القلف والراتنج والكينو وغيرها ● خشب رد الفعل (الشد والانضغاط) ● العيوب التجهيزية في الأخشاب ● المراجع .

يقصد بتعبير العيوب الطبيعية والنموية والحالات الشاذة في الأخشاب تلك العيوب التي تعيق استخدام الإنتاج الشجري من الأخشاب بصورته الطبيعية، والعيوب النموية هي تلك العيوب الناشئة عن ظروف نموية بعينها تغير في صفات الأخشاب، وتجعلها غير صالحة للاستعمال، كما أن الحالات الشاذة هي تلك الحالات والظواهر التي تشذ عن المعتاد في الإنتاج الخشبي للأشجار. هذا وتشير العيوب التجهيزية في الأخشاب إلى تلك العيوب التي تنشأ نتيجة لمعاملة الأخشاب بعد قطعها من الأشجار سواء كانت عيوب تجفيف أو تجهيز ميكانيكي للأخشاب.

عيوب اتجاه الألياف في الأخشاب وترتيبها

Defected Grain Direction and Orientation in Wood

المعتاد في الإنتاج الخشبي هو الاتجاه المستقيم للألياف، وأي انحراف عن هذا يعد عيبًا حيث يقلل من متانة الخشب وإن كانت بعض نوعيات ترتيب الألياف مثل

المجعـد والمموج وغيرها قد تعد مطلوبة من الناحية الجمالية في إنتاج أخشاب القشرة (انظر الجزء الثاني من المؤلف).

نوعيـات ترتيـب الألياف واتجاهها في الأخشاب

هناك تباين شديد في نوعية ترتيب الألياف بين الأجناس وداخل الجنس نفسه والنوع نفسه. وهناك أشكال لهذه الترتيبات منها مايلي:

الترتيب المتشابك Interlocked Grain

ويقصد به ما يحدث عند نشر الأشجار التي بها ترتيب منعكس ملتف الألياف مما ينشأ عنه انعكاس هذا على القطاع الطولي بالأخشاب عند نشر الألواح فتظهر في قطاعها المماسي كأنها مخططة طوليًا.

وهذا مثل ما يحدث في الماهوجني، وهذا النوع من الترتيب يزيد مقاومة الانفصال القطري، ويخفض كلاً من مقاومة الانحياز بالثني، والصلابة (Weddell, 1961) وهذا النوع من الترتيب واقع في الأخشاب الاستوائية مثل الماهوجني الأفريقي (*Khaya ivorensis*) والماهوجني الأمريكي (*Swietenia macrophylla*) وبعض أخشاب المنطقة المعتدلة مثل السيكامور أو الدلب (*Platanus occidentalis*) والألم الأمريكي (*Ulmus americana*) (Panshin and de Zeeuw, 1980).

الترتيب الحلزوني Spiral Grain

ويقصـد بذلك الترتيب الحلزوني للألياف داخل السيقان الشجرية مما يعطي شكـلاً معصورًا «أو ملتفًا من الخارج، وهذه صفة وراثية داخل بعض الأجناس كما نلاحظ الكازورينا (.*Casuarina* sp) ، ويرافق هذا تشققات باتجاه حلزوني على الساق من الخارج خلال القلف، وقد يكون هذا الترتيب مختلطًا مع الترتيب المتشابك في الساق نفسـه، ويظهر هذا في بعض أجناس المخروطيات والصالدات على حد سواء، وفي المخروطيات يلاحظ وجود حلزوني يساري قرب النخاع تزيد زاوية انحداره مع الاتجاه

للقلف في منطقة الخشب الحديث، ثم يعقب هذا انخفاض في زاوية الميل للحلزون كلما قربت الحلقات النموية في القلف مع انعكاس في الحلزون ليصبح يمينيًا في التفافه، يزيد من انحداره مرة أخرى مع زيادة العمر (Woodfin, 1969) ، هذا ويذكر بعض المراجع أن الحلزون اليساري يلتف أكثر مع تغير الرطوبة عن الحلزون اليميني (Lowery and Erickson, 1967) ، هذا ويذكر (Panshin and de Zeeuw, (1980 أن اتجاه الحلزون في الصالدات عكس النمط المذكور آنفًا في المخروطيات، وقد أرجع ظهور هذا النمط من ترتيب الألياف الحلزوني في الصالدات والمخروطيات إلى كيفية الانقسامات الكامبيومية خلال تكشف النسيج الخشبي، وانحراف البوادىء الفيزيفورمية من خلال انقسامات عرضية كاذبة مع فقد بعض الخلايا ثم النمو القممي للخلايا إلا أن هناك نظرية أخرى تشير إلى النمو غير المتساوي للبوادىء الفيزيفورمية الجديدة (Harris, 1973) .

هذا ويعد ذلك العيب في الأخشاب مهما لخفضه قيمتها الإنشائية فيسبب خفض متانتها وإحداث خشونة في السطح عند إنتاج ألواح أو قشرة .

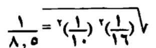
الترتيب المتقاطع والمائل للألياف Cross and Diagonal Grain

في هذه الحالة ينحرف اتجاه الألياف في ترتيبها ليصبح متقاطعًا مع اتجاه محور الخلايا الخشبية نفسها، وقد يكون هذا ناشئًا عن انحرافات في الترتيب مثل الترتيب الحلزوني، أو عن عيوب في تكوين الساق الشجري، أو قد يعزى إلى ظهور عقد في الساق تغير من اتجاه الألياف حولها، هذا وقد تكون طريقة نشر الألواح مؤدية إلى هذه الانحرافات في تكوين الألياف بالساق، وهذا العيب يخفض من القيمة العامة للأخشاب نتيجة لخفضه لمتانتها.

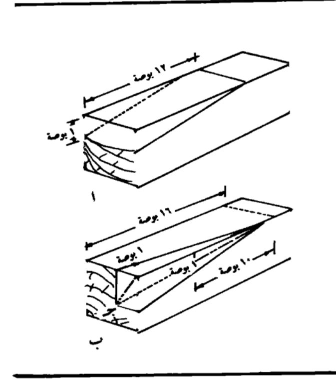
أما الترتيب المائل (diagonal) فهو يحدث عندما يتم نشر الألواح بحيث يكون اتجاه المنشار موازيًا للنخاع، ثم يحدث أن يتقاطع سطح الألواح مع اتجاه الألياف وإن كان الترتيب المائل للألياف قد ينشأ داخل الساق من خلال حدوث نوع crook بها ولتجنب هذا العيب يجري النشر موازيًا للقلف في الجذوع .

قياس وتحديد مدى ميل اتجاه الألياف

في الواقع أن هذا يمكن أن يلاحظ بالطرق العامة من تتبع التشققات في السطح الخارجي للجذوع أو الألواح أو مجرد «فلق» الألواح وملاحظة سطح الانشقاق الناتج. هذا ويقاس مدى ميل أو التفاف الألياف بالطرق القياسية عن طريق الانحراف الكلي في وحدة الأطوال بالألواح المنشورة (شكل ٣٩)، ويلاحظ من الشكلين الموضحين أنه في الصورة العليا يكون الانحراف ١ في كل ١٢ وحدة، أما في الشكل الأسفل فإن الانحراف في هذه الحالة سيكون في أحد السطحين ١ في كل ١٦ وحدة، والثاني واحد في كل عشر وحدات طولية والانحراف يصبح على السطحين=



$$\sqrt{(\frac{١}{١٦})^{٢} \; (\frac{١}{١٠})^{٢}} = \frac{١}{٨,٥}$$



شكل ٣٩. يوضح ترتيب الألياف المائل (عن Panshin and de Zeeuw, 1980).

الإجهادات النموية في الأخشاب Growth Stresses in Wood

قد يصح القول بتسمية هذا العنوان الإجهادات النموية للأشجار. وإن كان المقصود هنا أن نذكر تلك العيوب الناشئة عن مشكلات نموية تمر بها الأشجار، وهي عمومًا عيوب تنشأ عن نمو وتكشف عاديين بالأنسجة الخشبية في أشجار تتعرض لإجهادات معينة قد تسبب فيها التشققات والقلب المتصل وانهيارات الانضغاط. وهذه يترتب عليها عيوب في الأخشاب المنشورة الناتجة عن جذوع الأشجار. هذا ومن الممكن تجنب بعض عيوب إجهادات النمو بطرق الإسقاط كما في تجارب Nicholson, (1973) على الكافور حيث إن نقص النمو الإضافي في الموسم السابق للإسقاط يؤدي إلى استرخاء الإجهادات النموية بالأشجار بمقدار حوالي ٧٠٪ إلا أن هذا قد لا ينجح مع كل الأصناف، وينصح الباحث نفسه باستخدام ضواغط من الصلب عند المناطق التي سيتم فيها إحداث أول قطع للإسقاط في الساق. كما أنه يذكر أن تخزين الجذوع تحت رذاذ من الماء يقلل من إجهادات النمو وقد لاحظ أن ذلك إذا طبق لمدة حوالي العام في جذوع الكافور فإنه يخفض مستوى الإجهادات بحوالي ٢٠٪.

أسباب إجهادات النمو

من المعتقد أن إجهادات النمو تنشأ من ترسيب اللجنين وبوادئه في الجدار الخلوي الثانوي في مراحل نضج الألياف (Boyd, 1972) . حيث إن هذا الترسيب لبوادىء اللجنين وبلمرتها يحدث تقلصًا في طول الألياف، وتمددًا في عرضها، وهذا الإنكماش في الطول في عديد من ألياف النسيج يسبب إجهادات شد طولية على أسطوانة النسيج الخشبي المحيطي داخل الجذع. وبالتالي فإن كل حلقة نموية سنوية تضاف إلى النسيج الخشبي تضيف إلى جهد الشد الطولي داخل القلف وتحدث انضغاطات في الأنسجة السابقة لها في مركز الساق محدثة بهذا إجهادات انضغاطية ناحية القلب مع زيادة النمو القطري وهذا يؤكد الملاحظات التي لاحظها Boyd, (1950) فوجد أن الألواح المنشورة من داخل مركز الساق تتمدد في الطول بعد النشر مباشرة في حين أن الألواح المأخوذة من الأسطوانة الخارجية للساق تنكمش طوليًا بمجرد قطعها من الجذع، وقد أوضح هذا بحسابات نظرية ظهر منها أن الاجهادات الطولية

١٠٠٠ رطل/ بوصة٢ إلـى ٣٠٠٠ رطل/ بوصة٢ فـي جـذوع الكافور التـي يصـل قطرها حوالي ٢٤ بوصـة. فـي حيـن أن إجهادات النمو قـرب مركـز السـاق كانـت إجهـادات انضغـاط وقـدرت بحوالـي ٣٠٠٠ رطـل/ بوصـة فـي جـذوع الكافـور نـوع *Eucalyptus regnans* . وقد وجد أن إجهادات النمو في صالدات الأخشاب أعلى منها في المخروطيات (Boyd, 1950) .

أما بالنسبة لإجهادات النمو العمودية على اتجاه الألياف فهي تنشأ بالتالي نتيجة لتولد إجهادات النمو الطولية وتبعًا لنسبة بواسون المعروفة، وبالتالي فإن الجزء الخارجي من السـاق يتعـرض لإجهـادات نمـو انضغاطية في حين أن الجزء الداخلي يتعرض لإجهادات نمو من نوع الشد، وقد أظهر (1950) ,Boyd حسابيًا أن هذه الإجهادات النموية ناشئة عن مجرد ظروف النمو الطبيعية بالأشجار، وهي تختلف من جنس إلى آخـر إلا أن إجهادات النمو الناشئة عن مؤثرات خارجية مثل فعل الرياح تؤدي إلى ظهور عيوب أخرى مثل خشب رد الفعل الذي سيرد ذكره فيما بعد.

أنـواع إجهـادات النمـــو .

الانهيارات الانضغاطية Compression Failures

نلاحظ أن استمرار إجهادات الانضغاط الطولية في الجذوع الضخمة تحدث تكوين انهيارات ميكروسكوبية عمودية على اتجاه الألياف، هذه الأنهيارات تتجمع في مستويات عمودية مع اتجاه الألياف بدرجة مختلفة، وتصنع زاوية حوالي ٤٥ درجة مع محور الخلايا، ومن الناحية التشريحية فإنها تمتد داخل جدر الخلايا نفسها محدثة مناطق ضعيفة في الشد في هذه الجدر، وإن كان مقدارها قليلاً من الناحية الكمية إلا أنها تظهر واضحـة في الفحص الميكروسكوبي، وهي تظهر في الصالدات والمخروطيات، ومن الواضح أن الأخشاب المحتوية على القلب المتصلب كما هو في الكافور تظهر بها هذه الصفة، وتكون ضعيفة في قوة مقاومة الشد الموازي للألياف وضعيفة في المتانة بمقدار الثلث تقـريبًا (Skolmen, 1964) ، وقد لوحظ هذا بواسطة الباحث السابق نفسه في

الكافور من نوعي *robusta, regnans* لذلك في بعض الأجناس مثل اللون الأحمر (جنس *shorea*) في الفلبين وفي جنس الزان (*Fagus* sp.) وقد أورد هذا الباحث Chow, 1946 .

هذا وقد أرجع بعض الباحثين ظهور هذه الانهيارات الانضغطاية في أخشاب الأشجار القائمة إلى عوامل خارجية، مثل الرياح والثلج المتساقط بغزارة، وقد أظهر هذا في حساباته (Boyd, 1950) . وعمومًا فإن هذه الانهيارات الانضغاطية برغم تأثيرها الضار على قوة الثني في الأخشاب إلا أنها في بعض الأحيان غير واضحة للعين المجردة.

التشقـقات Shakes

هذه التشققات قد تكون من النوع الحلقي، أو من النوع القطري وهي عبارة عن انفصالات طولية بين الخلايا الخشبية، وقد تحدث بصورة حلقية في الأشجار قبل إسقاطها، وهي تظهر في الصالدات مثل الجوز الأمريكي والسنديان والمخروطيات مثل الدوجلاس فير وقد أظهر الباحثان (Khandeel and McGinnes, 1970) خلال دراسة بالميكروسكوب الأليكتروني لطبيعة مناطق الانفصال والتشقق الحلقي أن الانهيارات الحلقية في صالدات الأخشاب يكون فيها الانفصال في معظم الأحيان بين الجدر الخلوية، وليس عبرها، وقد أرجع الباحثان بدء حدوثها إلى إصابات في منطقة الكامبيوم خلال تكشف الخلايا بالإضافة إلى تغير في نموط التركيب الكيميائي للصفيحة الوسطى في هذه الأحوال خلال تكشف النسيج الخشبي، وارتباط هذا بحافز هرموني ينتج عنه تكوين نوع من خشب رد الفعل مرافقًا للتشقق الحلقي في السنديان.

العقـد الخشبيـة Wood Knots

إن المظهر الذي نسميه عقدة داخل اللوح الخشبي المنشور ما هو إلا نتيجة وجود فرع مغمور داخل النسيج الخشبي وعند عمل قطاع طولي (وهو اللوح المنشور) في هذه المنطقة. وتظهر العقد من خلال اتصالها بالنسيج الخشبي، فهي قطاع عرضي في الفرع، هذا القطاع العرضي مغمور داخل قطاع طولي للساق تركيب الفرع نفسه

يطابق تركيب الساق من حيث إنه يتكون من حلقات نموية سنوية، هذا وهناك أنواع مختلفة من العقد، فهناك العقد المحاطة بالنسيج الخشبي، وهناك العقد المتداخلة مع الألياف، وهنـاك العقد المتكونة بسبب آثار باقية لفروع تمت إزالتها خلال عمليات التقليم الطبيعي، أو الصناعي للأخشاب، وتسمى هذه العقد في هذه الحالة عقدًا مهمازية (Spike) وتكون عادة من النوع المتداخل في النمو، حيث إن النسيج الخشبي حولها يتصل بها، هـذا ومـع مـوت الفرع فـي أنواع العقـد الكبيرة تتكـون العقـد المحتواة (encased) . وهي ببساطة ليست إلا سدادة لمنطقة تتحول مع الوقت إلى ثقب، حيث تصبح من النوع السائب (loose) ، ويمكن تقسيم العقد حسب الحجم والشكل والنوعية والوفرة، وأخطرها العقد السائبة غير المتصلة بالنسيج المحيط بها، وهذه تؤثر بشدة على معامل الكسر، ومعامل المرونة، وتخفض بشدة مقاومة الصدم، وتأثيرها على الانضغاط الموازي للألياف قليل، وأيضًا على القص الأفقي إلا أننا نذكر أن موقعها في منـطقـة الجزء المعرض للشد من الكمرات الخشبية خاصة في وسطها يعد من أخطر المواقع لأنواع هذه العقد، حيث تخفض قوة تحمل الكمرات الخشبية بدرجة شديدة (Wangaard, 1950) .

جيوب القلف والراتنج والكينو وغيرها
Bark, Kino and Resin Pockets

في المعتاد نلاحظ أن هناك إصابات في منطقة الكامبيوم تؤدي إلى موت بعض الأنسجة، ثم تعاود بقية الأنسجة النمو محيطة بالمنطقة الميتة ومثل هذه الحالات تشابه حالات الجروح في منطقة الكامبيوم، أو اللحاء مما يؤدي في الغالب إلى وجود قطع من القلف مرقـدة في أنسجة الخشب الداخلية نتيجة لاحتواء الخشب المتكشف للنسيج الأصلي المصاب أو الميت الناتج عن إصابات من الطيور الثاقبة الماصة للعصارة، أو من أنفاق بعض يرقات الحشرات التي تصيب الأشجار في منطقة القلف، وبهذا تتكون هذه الأنسجة من القلف، وتصبح بمرور الوقت وتكشف الخشب راقدة فيه، وقد تحتوي مثل هذه الحبوب على إفرازات راتنجية بجانب أنسجة القلف داخلها.

جيوب الراتنج والكينو Resin and Kino Pockets

تتواجد جيوب الراتنج في المخروطيات المحتوية على قنوات راتنجية مثل أخشاب الصنوبريات والدوجلاس فير والسبروس واللارش، وتظهر جيوب الراتنج والإفرازات الراتنجية نتيجة لزيادة هذه الإفرازات في الأخشاب المخروطية وتجمعها داخل الأنسجة الخشبية بكميات متزايدة، حيث تسد الفجوات العصارية بالخلايا الخشبية وتغمر الجدار الخلوي تمامًا، وتتسرب العديد من الخلايا الخشبية المجاورة، وقد تنشأ نتيجة إصابات وجروح أيضًا بالأنسجة الخشبية، وعادة ما تكون جيوب الراتنج في حلقة سنوية واحدة، أي لا تمتد إكثر من حلقة نموية، هذا ونتيجة لطبيعة تكوين وتكشف هذه الجيوب الراتنجية فإنه يلاحظ أنها مبطنة بخلايا طلائية إفرازية تماثل تلك الموجودة في القنوات الراتنجية، وهي عمومًا تخليقات ما بعد كامبيومية.

أما جيوب الكينو فهي جيوب صمغية توجد في أخشاب الكافور أساسًا، وتشابه الجيوب الراتنجية من حيث طبيعة الخلايا المبطنة لها، وتحتوي على مستخلصات خشبية مفرزة منها من مجاميع التانينات المختلفة، ولها مشكلاتها في تصنيع وإنتاج لب الورق من أخشاب الكافور.

الهشاشية بالأخشاب Brashness

هذه الحالة عبارة عن عيوب طبيعية في الأخشاب تؤدي إلى أن يصبح الخشب هشًا قليل المتانة ويمكن كسره على درجات منخفضة من القوة ويعطي عند الكسر سطحًا شبه أملس غير متشظٍ مثل سطوح الكسر المعتادة في الأخشاب، وعادة ما يكون الخشب الذي به هذه الصفة قليل الكثافة إذا ما قورن بالجنس والنوع نفسهما وهناك أسباب عدة تؤدي إلى هشاشية الخشب المتأثرة بالساق ومنها نقص الثقل النوعي للخشب (أحد الأسباب التي تقلل المتانة)، وانخفاض نسبة السليولوز (مثل خشب الانضغاط في المخروطيات)، كما أن انخفاض نسبة السليولوز لأي سبب خارجي أو تكويني يؤدي إلى ظهور حالة الهشاشية في الأخشاب.

إصابات الصقيع والصواعق Frost and Lightining Injuries

هنــاك عيوب تظهر في الأخشاب المعرضة للصقيع الزائد ونذكر منها تشققات الصقيع وهذه تظهر كانفلاقات قطرية قرب قاعدة الساق في الأشجار وعادة ما يغطيها نسيج كالس في حلقات النمو التالية لتكوينها، وإن كان هذا التكوين التالي ضعيفًا، وعادة ما يكون ملحوظًا في صالدات الأخشاب بالأشجار المسنة، وعادة ما يظل الشق القطري قابلاً للانفلاق مع كل شتاء بعد حدوثه.

أما حلقات الصقيع فتظهر كحلقات قاتمة اللون موازية لنهايات حلقات النمو السوية وهي ناتجة عن إصابات بالصقيع لمناطق الكامبيوم خلال مراحل تكشفها.

هذا وهناك نظريات مختلفة تشرح تكون إصابات الصقيع، وبصورة عامة يمكن القول إن التوصيل الرديء للحرارة بالأخشاب يجعل الجزء الخارجي للساق المعرض للصقيع الشديد باردًا بدرجة كبيرة، وبالتالي يتقلص قبل أن يصل القلب في الساق إلى درجـة التقلص نفسهـا محدثـًا بهذا تباينًا في التقلص بين خارج الساق وداخله وهذه الانكماشات المتباينة تسبب إجهادات شد في الجزء المحيط بالساق، وتسبب التشققات القطرية الناشئة عن الصقيع، كما أن التأثر الميكانيكي لفعل الرياح على الساق القريب من درجة التجمد له تأثير في إحداث تشققات الصقيع وإصاباته.

أما إصابات الصواعق فهي ملحوظة في عديد من الأخشاب وتسبب إصابات بطول الساق في مناطق الغابات عند الإصابة بالصواعق، وتظل أماكن الإصابة واضحة حتى بعد تكشف أنسجة جديدة بعد موسم الإصابة (Morey, 1973) .

خشب رد الفعل (الشد والانضغاط)

Reaction Wood (Tension & Compression)

يتكون هذا النوع من النسيج الخشبي في الأشجار التي تمر بظروف نموية تختلف عن الـظروف النمـوية الـطبيعية من حيث الاستقامة فهو يتكون في الأشجار المائلة والفروع المعوجة، ونتيجة لعملية الميل أو الاعوجاج يتكون هناك هذا النسيج الناتج عن زيادة في النمو القطري، إما في الجانب الأعلى وإما في الجانب الأسفل من الساق

وإما في الفرع حسب ما إذا كانت الأشجار من معراة البذور أو من مغطاة البذور، ومثل هذا النمو يعزى إلى محاولة الساق استعادة اتزانها النموي المعتاد، ولتصحيح وضع الميل فإن الشجرة تكون هذا النسيج الذي ينشأ عند حلقات نموية إهليجية الشكل غير مركزية وتكون طبيعة الخلايا في النسيج المتكون مختلفة عن الأنسجة الطبيعية، ويعزى تكوين هذا النسيج لرد الفعل وخلاياه إلى حافز هرموني (Timell, 1973) .

وخشب رد الفعل في المخروطيات يوجد عادة في الجزء الأسفل من الساق أو الفرع المائل، في حين أن خشب رد الفعل في صالدات الأخشاب يوجد في الجزء الأعلى من الأفرع أو السيقان المائلة. هذا وقد توجد أنسجة خشب رد الفعل مبعثرة بطول الساق في بعض الأحوال كما في جنس الحور (Arganbright and Bensend, 1969) .

خشب الشد Tension Wood

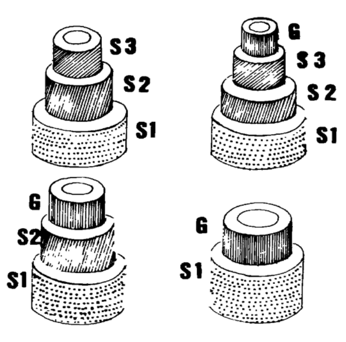
يلاحظ أن صالدات الأخشاب عند تكوينها لخشب رد الفعل فإنه عادة ما يتكون النسيج الشاد في الجزء الأعلى من الساق المائل، أو الفرع المائل، وهي مناطق من الناحية الميكانيكية معرضة للشد ولهذا فإنه يسمى خشب الشد، هذا ويلاحظ أن خشب الشد لا يوجد في كل الأجناس وإن كانت تظهر في بعض الأجناس بصورة مغايرة في داخل الساق نفسه منتشرة أو داخل الحلقة السنوية نفسها (Berlyn, 1961) ، وقد يوجد في بعض السيقان شبه القائمة في الأشجار سريعة النمو صغيرة العمر من جنس الحور، ويتميز خشب الشد بوجود تكوينات في الخشب المبكر، كما أنه في مساحاته الكبيرة بعرض الساق يعطي لونًا مائلًا إلى البياض عن بقية النسيج الخشبي وسطحًا أشعث، وبريًا خشنًا (fuzzy) خاصة إذا تم النشر وهو أخضر، ومن الناحية التشريحية فإن نسبة الألياف حجميًا للأوعية تكون عالية، وتكون أقطار الأوعية أصغر، هذا وخشب الشد تتميز أليافه بوجود طبقة جيلاتينية إضافية تبطن الجدار الثاني تسمى celatinous layer ، ويلاحظ أن الطبقة الجيلاتينية من الجدار الخلوي موازية لمحور الخلية، وعادة ما تنتزع وتمتد خارج الجدار، كذلك فإنها عند القطع قد توجد مزاحة في أحد أركان الخلايا (أشكال ٤٠ و٤١ و٤٢)، أما من الناحية



شكل ٤٠. قطاع عرضي في خشب الشـد في هجـين من الحـور **Populus (hybrid)** كما يظهـر بالميكروسكوب الأليكتروني الماسح ويبدو فيه الجدار الجيلاتيني في أحد الأركان (١٠٠٠×)

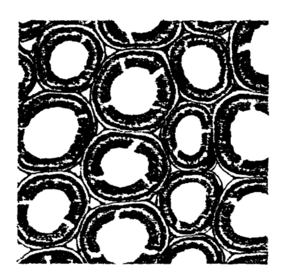


شكل ٤١. قطاع عرضي في الحور كما يبدو بالميكروسكوب الأليكتروني الماسح وقد تمزق الجدار الجيلاتيني وانزلق خارج الألياف مثل اللسان المتدلي (١٦٠٠×)



شكل ٤٢ ـ تخطيط لطبقات الجدار الثانوية في خشب الشد موضح بها زوايا الميكروفبرلات

التركيبية فإن خشب الشد يحتوي على سليلوز أعلى نتيجة لوجود الألياف الجيلاتينية بجدارها الجيلاتيني المكون أساسًا من سيليلوز، كما أن المحتوي اللجنيني لخشب الشد أقل من المعتاد في الصالدات كذلك نسبة الزيلوز (xylose) أقل وكميات السكريات المخزونة أقل عنها في الأخشاب العادية. هذا ويلاحظ في معظم الأحوال ـ من تكوين خشب الشد ـ أن الجدار الجيلاتيني المبطن للألياف ليس في حقيقته جيلاتينيًا كتسميته بل إنه يتكون من ٩٨٪ سيليلوز شديد البللورية، والميكروفبرلات السليلوزية فيه تتجه موازية لمحور الخلية، وهي السبب في ارتفاع المحتوى السليلوزي للأنسجة المكونة لخشب الشد وإن كنا نذكر في بعض الأحوال الشاذة في بعض الأجناس أنه يغلب الجدار الجيلاتيني من حيث الشد، وإن كانت صفة انخفاض محتوى النسيج من اللجنيني تظل ملازمة لهذه الأنسجة من خشب الشد، هذا ونلاحظ أن خشب الشد قد يغيب منه الجدار الثانوية الثالث، والجدار الثانوي الثاني (شكل ٤٣)، وعمومًا يلاحظ أن انخفاض حجم الأوعية في خشب الشد بالإضافة إلى الجدر الخلوية للألياف المغلظة فيه قد تؤدي إلى زيادة الثقل النوعي. هذا ويرجع ظهور خشب الشد فسيولوجيًا



شكل ٤٣ . قطاع عرضي يبين قصيبات خشب الانضغاط في المخروطيات (عن Kollmann & Côté, 1968)

إلى نقص في هرمون الأوكسين في مناطق الشد بالسيقان (Leach and Wareing, 1967) ، كما أن إضافة مضاد الأوكسين تراي أيودو بنزويك آسيد إلى المناطق العليا من السيقان المائلة والمتينة ثبط من تكوين خشب الشد فيها (Hughes, 1964) .

خشـب الانضغـاط Compression Wood

في المخروطيات يتكون في السيقان المائلة والأفرع المائلة نوع من خشب رد الفعل يكون في الجزء الأسفل من الساق المائل، وهو المنطقة المعرضة للانضغاط، هذا الخشب بلونه الضارب إلى الحمرة بقتامة يتكون عادة في منطقة الخشب المتأخر، أو نهاية الحلقات السنوية، ويكون فيه الانتقال بين خشب الربيع وخشب الصيف انتقالاً فجائيًا إذا كان الجنس يكون أصلاً انتقالاً تدريجيًا والعكس بالعكس صحيح. ومن الناحية التشريحية فإن أليافه تكون شبه مستديرة مع مسافات بيئية كبيرة بين الألياف (أشكال ٤٠ و٤١ و٤٢ و٤٣) ويلاحظ أيضًا من الناحية التشريحية قلة كمية النقر، كما أن الجدار الثانوي الثالث يختفي في خلايا هذا النسيج، ويكون الجدار الثانوي الأول أسمك مع احتواء الجدار الثانوي الثاني على تشققات حلزونية تتبع اتجاه زاوية الميكروفبرلات في هذا الجدار، وقد يوجد الجدار المتألل مبطنًا للألياف، ويلاحظ أن هذا النسيج من الناحية

التركيبية شديد اللجنين من حوالي ٣٥٪ لجنين أعلى في الجدار الخلوي (فيما عدا الصفيحة الوسطى التي يقل بها اللجنين في هذا الخشب) واللجنين في هذا النسيج يكون كثير التكثف والسليلوز أقل، ونسبة الجالاكتوجلوكومانان أقل في حين الجالاكتان أعلى في الخشب العادي مع زيادة نسبة المستخلصات في بعض الأجناس. ويلاحظ أن خشب الانضغاط له كثافة أعلى من الخشب العادي دائمًا وصلادة مرتفعة، إلا أن انكماشه الطولي عالٍ بدرجة كبيرة، وقدرته على الاحتفاظ بالماء منخفضة، أما بالنسبة للخواص الميكانيكية، فهي فيما عدا الصلادة أقل من المعتاد، وسطح الكسر فيه يكون هشًا (brashness) هذا وقد يوجد خشب الانضغاط في الأخشاب القائمة، خاصة في المناطق التي تكون أسفل الأفرع، كما يوجد أحيانًا قرب النخاع في الساق، كما أنه يوجد في الأشجار المخروطية الصغيرة سريعة النمو، أو في الأشجار الأكبر عمرًا بعد إجراء عملية خف شديدة في الغابات الكثيفة ويرجع ذلك إلى زيادة تركيز هرمون الأوكسين في المناطق السفلية المعرضة للضغط في السيقان المثنية (Low, 1964, Larson, 1969) .

والجدول التالي (جدول ٩) يوضح الصفات المميزة والعامة لخشب الشد وخشب الانضغاط.

جدول ٩. مميزات نوعي خشب رد الفعل من الأشجار.

الصفة	خشب الشد	خشب الانضغاط
١ـ الجنس الشجري	يوجد في صالدات الأخشاب	يوجد في المخروطيات
٢ـ المكان	تكوين الحلقات السنوية غير مركزي ويتكون في الجزء الأعلى من الساق المائل	تكوين الحلقات السنوية غير مركزي ويتكون في الجزء الأسفل
٣ـ اللون والمظهر	أبيض أو فضي لامع في الخشب المنشور الجاف قاتم قليل الاستوائية، وفي حالة الخشب المنشور وهو أخضر يكون له سطح وبري.	لون مطفي غير لامع ضارب إلى الحمرة وأكثر قتامًا من المعتاد

تابع جدول ٩ .

الصفة	خشب الشد	خشب الانضغاط
٤ـ الصفات الفيزيقية والميكانيكية	ـ الانكماش الطولي عالٍ وقد يصل إلى ١٪ . الكثافة مرتفعة نوعًا ـ عالٍ في الشد إذا كان جافًا ومنخفضًا إذا كان أخضر	ـ الانكماش الطولي مرتفع القمة وقد يصل إلى ٧٪ . ـ الكثافة عالية بدرجة ملحوظة . ـ معامل المرونة وقوة الصدم والشد منخفضة بالمقارنة بالكثافة .
٥ـ الصفات التشريحية	توجد الألياف الجيلاتينية في معظم الأحيان وينخفض حجم الأوعية وعددها كما توجد تشققات وانهيارات انضغاطية في جدر الخلايا ، وقد يغيب أحد طبقات الجدار الثانوي ، بل قد تختفي جميعًا ما عدا الطبقة الثانوية الأولى وتوجد معها الطبقة الجيلاتينية .	القصيبات مستديرة ، وتوجد مسافات بينية بين الخلايا ، ونمط الانتقال ما بين خشب الربيع وخشب الصيف معاكس لما هو في الوضع الطبيعي كما يوجد تشققات حلزونية موازية للميكروفبرلات موازية للجدار الثاني .
٦ـ التركيب فــوق الدقيق	الجدار الثانوي الأول أرقُ من المعتاد واتجاه الميكروفبرلات في الجدار الجيلاتيني موازٍ لمحور الخلية .	قد يغيب الجدار الثانوي الثالث في حين أن الجدار الثانوي الأول يكون أسمك مع وجود تشققات واضحة في الجدار الثانوي ووجود الميكروفبرلات بزاوية ٤٥ درجة مع وجود نتوءات سليلوزية .
٧ـ التركيب الكيميائي	النسيج يحتوي على نسبة أعلى من السليلوز ، ونسبة أقل من اللجنين والزيلوز عن الخشب العادي والجدار الخلوي الثانوي باستثناء الجدار الجيلاتيني ملجننة بصورة عادية . كمية السكريات المخزنةأقل من الخشب العادي ، وكذلك كمية النشأ تكون أقل أيـــضًا .	النسيج شديد اللجنة يحوي حوالي ٣٥٪ لجنين أكثر من الخشب العادي إلا أن الصفحة الوسطى محتوها اللجنيني أقل ، واللجنين نفسه مكثف بصورة كبيرة عن الخشب العادي ، والمحتوى السليولوزي أقل حوالي ٢٥٪ من الخشب العادي ويوجد الجالاكتوجلوكومانان بصورة أقل من الخشب العادي في حين أن الكالاكتان أعلى من الخشب العادي ، وقد توجد المستخلصات بصورة عالية في بعض الأجناس .

العيوب التجهيزية في الأخشاب Wood Processing Defects

إن العيوب التجهيزية للأخشاب يشار بها إلى تلك العيوب التي تتكون نتيجة لمعاملة الأخشاب بعد قطعها من الأشجار من تجفيف ونشر وتجهيز صناعي. وهذه المجموعة من العيوب يمكن تلافيها، أو تقليل تأثيرها، والتحكم فيها باتباع الطرق التكنولوجية الملائمة في كل حالة من الأحوال.

عيـــوب التجفيـــف Seasoning Defects

هذه العيوب تنشأ من خلال عملية التجفيف، ويجب أخذها في الاعتبار وتجنبها عند وضع جداول التجفيف المعروفة للأفران الخاصة بهذه العمليات. هذا والعيوب التي تحدث خلال عملية التجفيف تقع ضمن ثلاثة أنواع: عيوب متعلقة بالانكماش. وعيوب متعلقة بالإصابات الفطرية. وعيوب متعلقة بالتركيب الكيميائي الطبيعي للأخشاب. ونرجيء هنا الحديث عن الإصابات الفطرية، وتحلل الأخشاب البيولوجي حيث يأتي هذا تحت عنوان منفصل في الباب التالي (الباب الخامس).

عيوب التجفيف المتعلقة بالانكماشات

الواقع أن عديدًا من العيوب ترتبط بانكماشات الخشب مع التجفيف، وتحكمها القوانين العامة المتحكمة في علاقة الأخشاب بالسوائل، وإن كنا هنا نركز على العيوب التي تتصل بالخشب عند جفافه، والتجفيف بالأفران قد يعدل بحيث يتلافى العديد من العيوب التي تظهر نتيجة للتجفيف، وهذه العيوب نذكرها فيما يلي:

التشقـــقات السطحيـــة: هي عبارة عن انهيارات تحدث في الأخشاب المنشورة مماسيًا على أسطحها، وقد تأخذ مسار اتجاهات القنوات الصمغية مثلاً عند توازيها مع السطح المنشور، وهذه الانهيارات تحدث في المراحل الأولى لعمليات التجفيف، وقد تستمر فيما بعد، وترجع إلى الجفاف السريع للسطح الخشبي لوجوده في وسط ذي رطوبة نسبية منخفضة خاصة إذا ما كان سمك الألواح كبيرًا، وقد يحدث أن يتم غلق هذه التشققات خلال تقدم التجفيف وإن كانت تؤثر على جودة الأخشاب خاصة عند

صناعة الأثاث حيث تفتح هذه التشققات فيما بعد نتيجة للاستعمال، خاصة إذا تم هذا مع تغير وتباين في الظروف الجوية المحيطة بالأخشاب خلال استعمالها.

هذا ويلاحظ أن تكون التشققات السطحية خلال التجفيف الهوائي لا يحل مشكلة إعادة الأخشاب وابتلالها. حيث إن مثل هذه المعاملة قد تعيق تمامًا وتطيل من عملية التجفيف.

تشقق النهايات: مثل التشققات السطحية من حيث حدوثها خاصة في الأخشاب المنشورة السميكة وهي عادة ما تأخذ مستوى الأشعة الخشبية واتجاهها، ويمكن تقليل خطرها، وتجنبها مثل التشققات السطحية باستخدام رطوبة نسبية مرتفعة في مراحل التجفيف الأولية. ولهذا ينصح عادة بتغطية نهايات القطاعات الخشبية السميكة بشمع البرافين والمنصهر مثلاً وغيره من المعالجات على أن يستخدم هذا خلال كون الخشب أخضر، هذا وامتداد التشققات من النهايات يؤدي إلى حدوث انغلاق بالنهايات. وقد يعالج هذا باستخدام بعض الكلابات من الصلب لتقليل هذه الانفلاقات.

تداعى النسيج الخشبي وانهياره: إن انهيار النسيج الخشبي عبارة عن عيب ناشيء عن تباين الانكماشات خلال التجفيف يتم فيه تحطيم الجدر الخلوية. وفي حالة شدته يظهر كما لو كان القطاع الخشبي متعرجًا، ويحدث عندما تزيد إجهادات التجفيف الانضغاطية عن قوة مقاومة الانضغاط بالجدر الخلوية فتنهار هذه الجدر، ويحدث عادة في مراحل التجفيف الأولي في حالة الخشب الأخضر، وأحد مسبباته قوى الجذب السطحي للماء الحر المتحرك في الفجوات الخلوية بالجدر. وفي هذه الحالة فقد يحدث الانهيار فقط داخل الخشب، ولا يظهر على النسيج من الخارج إلا أنه يؤثر تأثيراً شديدًا على المتانة فيخفضها بشكل كبير. ويعد هذا العيب من أخطر العيوب، وهو يظهر في بعض الأجناس الخشبية دون غيرها، ويمكن تجنبه في هذه الأجناس إذا جففت تجفيفًا هوائيًا يسيراً قبل تجفيفها بالأفران.

انهيـــار عش النحـــل: يحدث هذا النوع من العيوب في شكل انهيارات تفتح القطاع الموازي للأشعة، وسببها انهيارات في الشد العمودي على اتجاه الألياف ـ وتنتج عن استخدام درجات حرارة مرتفعة في التجفيف بالأفران لفترات طويلة مع الأخشاب ذات المحتوى الرطوبي العالي. ويمكن تجنبها بتجنب ظروف التجفيف حتى يفقد الخشب الماء الحر تمامًا. ومثل هذا العيب يحدث تلفًا كبيرًا بالأخشاب خاصة أنه يحدث في داخل الخشب المنشور، وقد يختفي ولا يظهر إلا عند تجهيزه ميكانيكيًا فيما بعد. وعمومًا فإن هذا العيب عادة ما يرافق عيب الانهيار والتداعي السابق.

تشقـــقات القلـــب Boxed-Heart Split

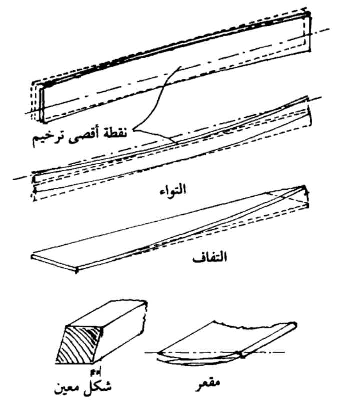
مثـل هذه الانفلاقات تحدث في مراحل التجفيف الأولى وتزيد بزيادة تجفيف لخشب فتكون انفلاتًا رئيسيًا يمر بقلب القطع الخشبية، وعادة ما تنشأ نتيجة للتباين لانكماشي القطري والمماسي في المنطقة المحيطة بالنخاع الخشبي.

الانهيـــارات الحلقيـــة Ring Failures

تحدث هذه الانهيارات موازية للحلقـــات السنـوية، أو عبرهـا وهي تشـابـه لتشققات الحلقية التي تحدث في الأشجار خلال نموها. وفي هذه الحالة فإن الانهيارات لحلقية تحدث عبر عدة حلقات سنوية مارة بمناطق الأشعة من حلقة إلى أخرى تليها، ىذا ويمكن التحكم في هذا العيب وتقليله عن طريق تغطية النهايات مع استخدام رجات حرارة منخفضة، ورطوبة نسبية مرتفعة عند بدء التجفيف.

تشوهـــات الالتواء Warp

تشمل عديدًا من العيوب (شكل ٤٤)، وتحدث مع استمرار تجفيف الخشب، شوه شكل القطع المنشورة نتيجة للتباين ما بين الانكماش المماسي والقطري، وتظهر ىكالها بوضوح في الشكل المبين المأخوذ عن (Rasmassen, 1979).



شكل ٤٤ . تخطيط يوضح أنواع عيوب تجفيف الخشب

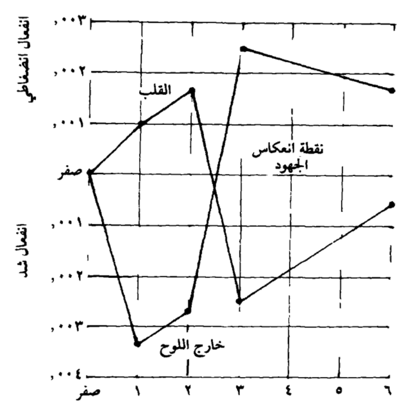
وأسـاسهـا التبـاينـات في مقدار الانكماشات القطرية والمماسية خاصة بالنسبة للألواح المنشورة مماسيًا. ويمكن التقليل منها عن طريق تعديل جداول أفران التجفيف مع إجراء تجفيف هوائي أولي. وتحسين طريقة رص الألواح خلال التجفيف.

تشقــقات وتحــرر العقــد

يحدث هذا العيب نتيجـة لتبـاين الانكـماشـات الحادثة داخل العقد الخشبية والنسيج المحيط بها، وينتج عنه تشقق العقد أو جعلها سائبة، ويمكن التحكم فيه، وتقليل هذا العيب باستخدام مراحل تجفيف معتدلة في بدايتها مع رطوبة نسبية مرتفعة نوعًا ما عند بدء التجفيف.

القشرة المتصلبة Casehardening

تحدث القشرة المتصلبة نتيجة لإجهادات التجفيف المرافقة للانكماش وهي حالة في الأخشاب تكون فيها الألياف في القطاعات الخارجية من اللوح الخشبي معرضًا لجهد انضغاط في حين الألياف الداخلية تكون تحت جهد شد أما انعكاس القشرة المتصلبة فهو عيب تكون فيه الألياف الخارجية تحت جهد شد والألياف الداخلية تحت جهد انضغـاط نتيجة لزيادة عملية التكييف في مراحل تجفيف الأخشاب النهائية، وعيب القشرة المتصلبـة ناتـج عن إجهـادات التجفيف فاصطلاح القشرة المتصلبة يشار به للأخشاب الجافة التي يوجد داخلها إجهادات تجفيف مقيدة لم تنطلق، وعلى عكس ما يعنيه هذا الاصطلاح فإن سطح قطعة الخشب يكون أكثر لينًا من قلبها، وهذا بسبب أن الخلايا على السطح في هذه الأحوال تكون في وضع شد، أي تكون القشرة أقل كثافة وألين، ويمكن شرح خطوات حدوث القشرة المتصلبة ببساطة بأنه عند تجفيف الخشب فإن الجزء الخارجي للوح يجف بسرعة تحت نقطة تشبع الألياف (راجع الباب السادس) وإن كان يمنع من الانكماش تمامًا بسبب القلب الذي لم يزل محتويًا على رطوبة، وفيما بعد فإن هذا الجزء الخارجي يصبح تحت شد بينما يكون القلب تحت انضغاط، ومع تقدم عمليات التجفيف بسرعة فإن التباين في المحتوى الرطوبي بين الداخل والخارج في قطعة الخشب يصبح كافيًا لإحداث تشكل دائم في السطح الخارجي، فيصبح هذا السطح في حالة شد بدون انكماش كامل، ومع زيادة جهود التجفيف عن قوة تحمل النسيج الخشبي تحدث تشققات في السطح الخارجي، ثم بعد هذا يفقد القلب قليلاً من محتواه الرطوبي، ويميل إلى الانكماش أكثر، ولكنه يجابه بحالة تشكل شد دائم على القشرة تمنـع من الانكماش الطبيعي للقلب وهكذا تنعكس جهود التجفيف وتصبح القشرة الخارجية للوح تحت جهود انضغاط، وتشكل شدًا والقلب تحت جهود شد، وتشكـل انضغـاطًـا، وقد يحدث هذا حالة عيب عش النمل المذكور آنفًا، ويمكن التغلب على هذا العيب باستخدام طريقة تكييف عند حرارة مرتفعة في نهاية دورات التجفيف، ويوضـح (شكـل ٤٥) انعكـاس جهـود وإجهادات التجفيف، وعمومًا فإن عيب القشرة المتصلبة يظهر في حالة استخدام تجفيف سريع مع حرارة عالية في بعض الأصنـاف إلا إذا تم هذا تحت ظروف تامـة التحكم في المحتوى الرطوبي للألواح والرطوبة النسبية حولها.



شكل ٤٥ . تخطيط يبين انعكاس جهود التجفيف

عيوب التجهيز الميكانيكي للأخشاب

هذه العيوب في الـواقع عيوب ناتجة عن المعاملة غير السليمة للأخشاب بعد القطع من تخزين وتجفيف وإن كانت لا تبدو جلية إلا خلال نشر الأخشاب وتصنيعها، ومعظمها يتعلق باتجاه الألياف والنسيج الخشبي من الناحية السطحية.

الأليـاف الوبريـة أو الشعثـاء Fuzzy Grain

وهذا التكوين يظهر على سطح الألواح المنشورة ناتجًا عن تقاطع مجاميع الألياف من نسيج خشب الشد في صالدات الأخشاب، وتعرض هذه الألياف على السطح، ونتيجة لتركيبها التشريحي المذكور آنفًا فإن مجاميع الألياف عند تجهيز السطح ميكانيكيًا - خاصـة في الحـالـة الخضراء - تنتصب متعاكسة مع اتجاه السطح مكونة نتوءات ذات مظهر، وَبِرَيٍّ على السطح، وهي عبارة عن تجمعات من الألياف تنتج من خلال تحرر

أطراف هذه الألياف من السطح الخشبي خلال عملية المسح الميكانيكي أو الصنفرة وتزداد هذه الظاهرة مع ارتفاع الرطوبة بالأخشاب، وهي لهذا ظاهرة أساسًا في صالدات الأخشاب، وإن كان قليل من المخروطيات يظهر تكوينات وبرية تشبه هذه المجموعة من العيوب إلا أن السبب فيها لا يكون بالقطع مثل أسباب تكوينها في صالدات الأخشاب، الذي يرتبط فيها تكوين السطح الوبري بوجود خشب الشد، هذا وقد ذكرت عديد من المراجع وجود هذا العيب (Marra, 1943) وقد ذكر المرجع السابق وجود الألياف الوبرية بكثرة في الأخشاب المنشورة مماسيًا عنها في المنشورة قطريًا، وهذا يكون راجعًا إلى تعرض كمية أكبر من الخشب المبكر في هذه الطريقة من النشر، ونظرًا لاتساع جدر الأوعية في هذا النوع من الخشب المبكر فإنها تنفصل عن السطح بسهولة مكونة أليافًا وبرية وإن كانت زاوية تعرض هذه الأوعية مع السطح تعد مؤثرًا أيضًا.

الأليـاف المرتفـعة عن السطح والسائبة

الألياف المرتفعة عن السطح ظاهرة ترجع إلى انفصال مساحات من السطح الخشبي في شكل رقائق لترتفع نافرة من السطح المجهز ميكانيكيًا، وهي ترجع أساسًا إلى الضغط الشديد، والضربات المتتالية التي قد تحدث من أسلحة فارة الثخانة (الرابوة) أو خلال الصنفرة الميكانيكية، ويكون الفعل الميكانيكي لهذه الأجهزة هو تحطيم الخشب المبكر وضغطه في حلقة نموية أو أكثر بفعل ضغط خارجي من أسلحة الماكينات على الخشب المتأخر في الحلقات النموية نفسها، وعلى هذا يسحق نسيج الخشب المبكر إلى داخل اللوح تحت الخشب المتأخر، ومع تباين إجهادات الانكماش بتغير الرطوبة فإن أطراق الحلقات النموية في الألواح المنشورة مماسيًا تنفر عن سطح اللوح، وتبرز مكونة هذا العيب الذي تكون فيه الأطراف منفصلة عن بقية نسيج اللوح، وواضح أن هذا الانفصال ناشيء عن تباين جهود الانكماش حيث ينكمش الخشب المتأخر عرضيًا أكثر من الخشب المبكر وإن كان أقل منه في الانكماش الطولي (Paul, 1955) وهذا العيب يؤدي إلى عيوب معقدة كثيرة خلال تجهيز الخشب خاصة في حالة أخشاب الأرضيات (Koehler, 1940) .

هذا ويلاحظ أن الألياف المرتفعة عن السطح تتكون في الألواح المنشـورة عنـد رطـوبـة أعلى من ١٢٪، وهـذا العيب يظهر في معظم الأنواع الخشبية خاصـة فـي المـخـروطـيات ذات الانـتقـال الفجـائي بين خشب الـربيع، وخشب الصيف (Panshin and de Zeeuw, 1980) .

هذا وعادة ما يؤدي ارتفاع الألياف عن السطح (raised grain) إلى تجعد في سطح الألـواح، وعـادة ما يظهر أكثر على الوجه المقابل للنخاع في الألواح نتيجة للمقاومة الشديدة التي يبديها الخشب المتأخر للقطع عند هذا السطح يعكس ما يحدث له في السطح المواجه للقلف. وعلى هذا فيكون هناك تحطيم وضغط أكثر للخشب المتأخر داخل نسيج الخشب المبكر على الوجه المقابل للنخاع؛ ولهذا ينصح عند الاستخدام جعل السطح المواجه للقلف هو السطح الأعلى في أخشاب الأرضيات، كذلك يلاحظ وجود تجعد في السطح القطري للألواح، وهذا راجع إلى التباين الشديد في التغيرات الحجمية نتيجة للرطوبة التي تحدث أكثر في الخشب المتأخر عن الخشب المبكر، ولهذا فإنـه كلما تغـيرت الرطوبة أكثر بعد التصنيع كلما ظهر هذا العيب أكثر على السطح القـطري في الألـواح المنشورة قطريًا، ومما لا شك فيه أن العيب يظهره أكثر أسلحة ماكينات التجهيز غير الحادة. وكنمط آخر من هذا العيب فإن الألياف السائبة (loosened grain) تنشأ كمرحلة متقدمة لهذا العيب، وفيها تكون قمم الحلقات النموية المعرضة على السطح المنشور مماسيًا منفصلة تمامًا عن بقية اللوح وهذا العيب يظهر جليًا في أخشاب الأرضيات من المخروطيات ويعزى إلى تباين إجهادات الانكماش، كما قلنا من قبل.

الأليــاف الممزقـة Torn and Chipped Grain

وهـذا العيب راجـع إلى التجهيز الميكانيكي أساسًا خاصة في حالة استخدام أسلحة للقطع غير حادة، أو استخدام درجة الرطوبة فيها أقل من ٥٪ أو عند إدخالها أسرع في ماكينات مسح الأوجه، ويمكن تلافي العيب بعكس اتجاه تغذية اللوح داخل الماكينة (Panshin and de Zeeuw, 1980) .

المراجـــع

المراجـع العربيـة

بدران، عثمان وقنديل، السيد عزت، ١٩٧٩ . *أساسيات علوم الأشجار وتكنولوجيا الأخشاب*. طبعة ثالثة، دار المطبوعات الجديدة، جمهورية مصر العربية.

References

Arganbright, D. and Bensend, D.W. 1969. Relationship of Gelatinous Fibers Development to Tree Lean in Soft Maple. *Wood Sci.*, Vol. 1.

Berlyn, G.P. 1961. Factors Affecting the Incidence of Reaction Tissue in *Populus Deltoides*, Bartr., *Iowa State J. Sci.*, 35 No. 3: 367-424.

Boyd, J.D. 1950. Tree Growth Stresses, II: The Development of Shakes and other Visual Failure in Timber. *Aust. J. of Appl. Sci.*, 1: 296-312.

.... **1972.** Tree Growth Stresses, V: Evidence of a Origin in Differentiation and Lignification. *Wood Sci. & Technol.* 6 No. 4: 251-262.

Chow, K.Y. 1946. A Comparative Study of the Structure and Chemical Composition of Tension Wood and Normal Wood in Beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forestry*, 20: 62-77.

Harris, J.M. 1973. Spiral Grain and Xylem Polrity in Radiata Pine: Microscopy of Cambial Reorientation. *N.Z.J. For. Sci.*, 3 No. 3: 363-378.

Hughes, F.F. 1964. Tension wood. *A review of litrature. for Abstract article.*, Vol. 26, 16 p.

Kandeel, S.A. and McGinnes, A. Jr. 1970. Ultrastructure of Ring Shake. *Wood Sci.*, Vol. 2 No. 3.

Koehler, A. 1940. More about Raised Grain, *South. Lumberman*, 161, pp. 171-173.

Lowery, D. and Erickson, E.C. 1967. The Effect of Spiral Grain on Pole Twist and Bending Strength. *Intermt. For. & Range Exp. St. Res. Pap.* INT-35. US.F.S.

Larson, P.R. 1969. *Wood Formation and the Concept of Wood Quality.* Yale University Press. U.S.A.

Low, A.J. 1964. Compression Wood in Conifer. *A review of Literature. For. Abstract.* Vol. 25, 16 p.

Leach, R.W. and Wareing, P. 1967. Distribution of Auxin in Horizontal Woody Stems in Relation to Gravimorphism. *Nature.*, 214: 1025-1027.

Marra, G. 1943. An Analysis of the Factors Responsible for Rasied Grain in the Wood of Oak Following Sanding. *Trans. Soc. Mech. Eng.*, 65: 177-185.

Morey. P.R. 1973. *How Tree Grows.* Arnold. London.

Nicholson. J. 1973. Effect of Storage on Growth Stresses in Mountain Ash Logs and Trees. *Aust. For.*. 36 No. 2: 114-124.

Panshin, A. and de Zeeuw, C. 1980.*Textbook of Wood Technology.* 4th ed. McGraw Hill. New York.

Paul, B.H. 1955. Raised, Loosened, Torn, Chipped and Fuzzy Grain in Lumber, *USDA. For. Serv. For. Prod. Rep.* p. 2044.

Rasmuseen, E.F. 1979. *Dry Kiln Operators Manual.* U.S. Dept. of Agric. Handbook. 188. Washington D.C.

Skolmen, R. and Gerhards C. 1964. Brittleheart in *Eucalyptus Robusta*Grown in Hawaii. *For. Prod. j.*, 14 No. 12: 549-554.

Timell, T.E. 1973. *Ultrastructure of the Dormant and Active Cambial Zones and the Dormant Phloem Anociated with Formation of Normal and Compression Woods in Picea abies L.* Karst. Stat. Univ. Coll. Tech. Publ. 96. *Environ. Sci.* For. Syracuse Univ. New York.

Wangaard, F., 1950. *The Mechanical Properties of Wood.* John Wiley & Sons, Inc. New York.

Weddell, E. 1961. Influence of Interlocked Grain on the Bending Strength of Timber with Particular Reference to Utile and Greenheart. *J. Inst. of Wood Sci.*, 7: 56-72.

Woodfin, R. Jr. 1969. Spiral Grain Patterns in coast Douglasfir, *For. Prod. J.* 19 No. 1: 53-60.

التحلل الحيوي للنسيج الخشبي

Bio - degradation of Wood Tessues

● مقدمة ● الفطريات المحللة والملونة للأخشاب ● الحشرات التي تصيب الأخشاب ● النخارات البحرية ● الأساس الكيموحيوي لتحلل الأخشاب ● المراجع.

مقدمــة

إن التحلل الحيوي للأخشاب يشكل جزءًا من دورة الكربون في الأمراض، والواقع أن نوعية الحياة التي نعـرفهـا ستتأثر حتمًا إذا ما استمرت عمليات البناء الضوئي بدون عمليات التحلل الحيوي القائمة، وبهذا يحدث نقص شديد في ثاني إكسيد الكربون بالكرة الأرضية (Kirk and Cowling, 1984) هذا ولقد أخذ تفهم دور الكائنات المحللة للأخشاب فترة طويلة منذ حوالي القرن حتى تأكد قيامها بهذا بصورة قاطعة بالكيفية التي نعـرفهـا الآن، والتي هي نتاج مئات الأوراق والأبحاث العلمية المنشورة. هذا وعملية تحلل الأخشاب تقوم بها العديد من الكائنات، فمن البداية هناك الاضمحلال الـذي يحدث نتيجـة لفقـد الغذاء المخزن، واستهلاكه بدون تحلل حقيقي للنسيج الخشبي، وهذا الاضمحلال بدون تحلل ناتج عن عمل الخلايا الحية في منطقة الخشب العصـاري، ونعتـبره نقـطة البداية في التفكك بدون تحلل، وبدون تأثير ضار. أما المؤثرات الأخرى فتبدأ من تلك التي تقوم بعملية الاختراق الميكانيكي للنسيج الخشبي مثـل الحشرات والـطيور نقـارات الأخشـاب، وبعض الثـدييات أما العوامل الملونة للأخشـاب والنسيج الخشبي بصـورة مرضية فهي أسـاسًـا فطرية وتقوم بالتلوين أو

الصبغ، أما تلك العوامل التي تدمر بعض الأنسجة مثل الغشاء النقري فهي تنتمي إلى مجموعة الفطريات والبكتريا، وأما التفكك للبوليمرات البنائية للأخشاب فقد يكون ميكانوكيموحيوية (Mechanobiochemical)، وتقوم بها الحشرات والنخارات البحرية في حين أن العمليات الكيموحيوية من تحلل تقوم بها الفطريات بأنواعها.

الفطريات المحللة والملونة للأخشاب

Wood Destroying and Staining Fungi

على الرغم من أن هناك أخشابًا تعد منيعة بالنسبة للإصابة الفطرية نتيجة لوجود مستخلصات خشبية ذات تركيب كيميائي معين فيها إلا أن الأخشاب في معظم الأحيان من معظم الأجناس الشجرية تصاب بالفطريات بأنواعها المختلفة. ومن المهم أن نلاحظ أن الفطريات المحللة أو المدمرة للأخشاب تصيبها تحت شروط استعمالية أو طبيعية أو بيئية محددة أهمها المحتوى الرطوبي للأخشاب الذي يجب أن يتجاوز الـ ٢٠٪، ويقترب من نقطة تشبع الألياف وثانيها درجة حرارة مناسبة، والدرجة المثلى لمعظم الفطريات تتراوح ما بين ٢٥-٣٠°م. والحرارة إذا وصلت إلى حوالي ٤٠°م فإنها تعد مثبطة للنمو الفطري، فالفطريات المكونة للصبغة الزرقاء مثلا لا تنمو فوق ٣٥°م إلا أن الفطريات المكونة للصبغة الصفراء في السنديان مثلًا يمكنها النمو حتى ٤٠°م وتستمر حتى ٤٥°م. (Cartwrignt and Findlay, 1950) ويؤكد المرجع نفسه كذلك أن الأكسجين يعد لازما لنمو الفطريات المحللة والملونة للأخشاب للعمليات الحيوية كالتنفس، ومن المعروف أن التركيزات العالية من ثاني أكسيد الكربون تعيق نمو الفطريات.

والواقع أن الاحتياجات الاكسجينية للفطريات المحللة والملونة للخشب تعد مرتبطة باحتياجاتها المائية، فمع توافر الاحتياجات الرطوبية في الفراغات الخلوية مع كمية كافية من الأكسجين فإن الفطريات المكونة للصبغة الزرقاء يمكنها النمو بسهولة، إلا أن خفض الأكسجين يثبط النمو حتى مع المحتويات الرطوبية العالية، فمن التجارب العملية يظهر أن تخزين الجذوع تحت سطح الماء تمامًا يحميها بصورة معقولة

من الصبغة الزرقاء. كما أن تواجد بعض العناصر الغذائية يعد لازمًا لاستمرار النمو الفطري في الأخشاب. والاحتياجات الرئيسة للفطريات المحللة والملونة للخشب تتضمن الكربوهيدرات واللجنين إلا أن الفطريات ـ الملونة احتياجاتها أساسًا ـ تأخذها من سكريات أقل تعقيدًا في التركيب، ومن بقايا البروتينات الموجودة في الخلايا البرانشيمية في الأنسجة الخشبية. هذا بالإضافة إلى أن تواجد النتروجين يعد أساسًا لنمو معظم الفطريات المحللة للأخشاب، وإن كان استخدامها للنتروجين يكون دائمًا في صورته العضوية مع وجود عوامل نموية مساعدة مثل الثيامين بالإضافة إلى بعض العناصر المغذية الأخرى مثل الزنك والفوسفور (Cochrane, 1958) ، كما أن رقم الحموضة يجب أن يكون ما بين ٥, ٤ و٥, ٥ بالنسبة للفطريات المحللة للأخشاب.

وهناك عدة طرق مختلفة للتعرف على الإصابة الفطرية ظاهريًا، إلا أن أعراض الإصابة تصبح واضحة بعد تقدمها بصورة كبيرة، حيث يصير الخشب متغيراً في لونه، وينخفض ثقله النوعي، وصفاته الميكانيكية، بالإضافة إلى بعض التشققات التي تظهر على سطحه نتيجة للانكماش الذي يحدث بعد تحلل المادة الخشبية، ومع تقدم الإصابة يمكن أن يتحلل الخشب ليصل إلى مرحلة يمكن سحقه فيها بسهولة، إلا أن المراحل الأولية للإصابة لا يسهل التعرف عليها إلا من خلال الفحوص المجهرية لقطاعات يمكن من خلالها التعرف على هيفات الفطر داخل النسيج الخشبي. والواقع أن الإصابة الفطرية تبدأ من خلال الأنزيمات التي تفرزها الهيفات خلال النمو، والتي تقوم بدور عوامل مساعدة لتفاعلات كيميائية يتم من خلالها تحلل النسيج الخشبي.

وفي حالة التحلل فإن الأنزيمات تساعد على تحليل السليولوز وعديدات التسكر واللجنين من خلال تشجيع تفاعلات تحلل مائي، أو أكسدة تساعد على تحلل هذه البلمرات العالية إلى مواد ذات وزن جزيئي منخفض يسهل على الفطر استخدامها، وهكذا فإن الفطريات المحللة للأخشاب تحصل على الطاقة اللازمة لنموها بهذه الطريقة مما يؤدي إلى تحطم الجدر الخلوية وانخفاض الثقل النوعي والخواص الميكانيكية والفيزيقية للأخشاب بصورة واضحة. هذا وتنقسم الأخشاب من حيث قابليتها

للإصابة بالفطريات إلى مقاومة ومتوسطة ومنخفضة، وترجع المقاومة بدرجة كبيرة إلى وجود مستخلصات كيميائية معينة تعيق وتمنع الإصابة.

تقسيم الفطريـات المحللة للأخشاب

منـذ بدء دراسة تحلل الأخشاب حيويًا بالفطريات لوحظت فروق بين مجاميع مختلفة من حيث تأثيرها على المادة الخشبية وحتى أواخر الأربعينات كان الملاحظ وجود مجموعتين من الفطريات المحللة للأخشاب هما العطب الأبيض والعطب البني إلا أنه تأكد بصورة قاطعة وجود العطب اللين كمجموعة ثالثة في أوائل الخمسينات (Findlay and Savory, 1950).

وهذه المجاميع الثلاث تختلف مع بعضها في مظهر الإصابة ونوعيتها.

العطـــب البنـــي Brown Rot Fungi

كان من الواضح بالنسبة للباحثين في البداية أن هذه المجموعة من الفطريات تهاجم السليلولوز أساسًا تاركة اللجنين، وكانت نتيجة التحليل في الأخشاب المصابة هو ارتفاع نسبة اللجنين إلى الكربوهيدرات مما يؤكد هذه الفكرة، وبفحص الأخشاب بهذه الطريقة اتضح أن المحتوى اللجنيني للعينات المصابة من الأخشاب ظل ثابتًا، أو لحقه نقص قليل بينما تناقص المحتوى السليولوزي والهيمسليولوزي بصورة جلية مع تقدم الإصابة كذلك يلاحظ أن العطب البني يرفع من درجة ذوبان النسيج الخشبي في محلول الصودا الكاوية ١٪ كنتيجة للتحليل الجزئي لعديدات التسكر طويلة السلسلة، لتعـطي مجمـوعـات ذات درجة بلمرة منخفضة قابلة للذوبان في القلوي المخفف، وبالتالي فإن اللون البني للخشب المصاب يرجع إلى كمية اللجنين التي تظل كما هي مع اختفاء المركبات السليولوزية الهيمسليولوزية الموجودة أصلاً بالخشب، ويعد التفاعل الرئيس عبارة عن تحلل مائي لعديدات التسكـر بمـا يشابـه التحلـل المائـي الحمضـي (acid hydrolysis) . وإن كان هنـاك تحلل قليل يحدث مع تقـدم الإصـابة في كمية اللجنين فإنه غير مؤكد أن تحلل اللجنين يتم عن طريق تحلل أنزيمي أو بصورة فيزيقية

مترافقة مع تقدم تحلل الكربوهيدرات الموجودة في الخشب والجدول رقم ١٠ يبين تحليل أخشاب أصيبت بالعطب البني.

جدول ١٠ . تحلل الأخشاب من نوع *Abies alba* بالعطب البني جنس *Paxillus panuoides*

المركب الكيميائي	الخشب الطبيعي ٪	الخشب المتحلل ٪
سليولوز (Cross and Bevan)	٥٧٫٥	٧٫٥
بنتــوزان	٩٫٤	٣٫٧
لجنيـــن	٢٩٫٣	٢٤٫٧
الذائب في ١٪ ص أ يد	١٢٫	٢٧٫١
الذائب في ٢ : ١ محلول بنزين ـ كحول	٠٫٦٤	٢٫٠٣

المصدر مأخوذ عن (Farmer, 1967)

الجدول السابق يظهر فيه جليًا تأثير العطب المبني على نوع من خشب البياض تم فيه خفض الوزن نتيجة للتحلل إلى ٥٦٫٣٪.

العطــب الأبيــض White Rot

العـطب الأبيض يظهر فيه تغير في طبيعة مهاجمة الخشب عن العطب البني، فالعطب الأبيض يعطي تباينًا واضحًا في طبيعة هجومه على المركبات المكونة للخشب، فمثـلاً يهاجم اللجنـين وقبـل بدء تحلل السليولـوز، وإن كان هناك بعض من هذه المجموعة تبدأ بالسليولوز والبنتوزان ثم تهاجم اللجنين، إلا أن النمط الأول هو الأكثر شيوعًا من حيث مهاجمة اللجنين وعديدات التسكر على التوالي من بداية الإصابة، وعند تحليل الأخشاب المصابة يلاحظ فروق واضحة بينها وبين الأخشاب غير المصابة؛ نظرًا لأن مكونات الخشب المختلفة تتحلل بدرجات متفاوتة حسب كمياتها الأصلية الموجودة في الخشب، وبالتالي فإن حساب النسبة المئوية للمكونات المختلفة على أساس الخشب الطبيعي قبل الإصابة مع أخذ النقص في الوزن نتيجة للتحلل يوضح أي من هذه المكونات فقد كمية أكبر، ويظهر هذا في جدول رقم ١١ .

جدول ١١ . تحلل الأخشاب المصابة بفطر *Polystictus versicolor*

المركب الكيميائي	بيانات على أساس نسبة مئوية من وزن العينات المحللة			بيانات على أساس النسبة المئوية لوزن الخشب الأصلي السليم		
الثقل النوعي٪ من الأصلي	١٠٠	٩٠	٦٨	١٠٠	٩٠	٦٨
السليولوز (Cross & Bevan)	٥٧ر٩	٥٨ر٨	٥٨ر٢	٥٧ر٩	٥٢ر٩	٢٩ر٦
البنتــــوزان	٢٢ر٨	٢٣ر٤	٢٢ر٨	٢٢ر٨	٢١ر١	١٥ر٥
اللجنيــــن	٢١	٢٠ر٧	٢٠ر٥	٢١	١٨ر٦	١٣ر٩
ذوبان في صودا كاوية ١٪	١٦ر٨	١٦ر٨	١٨ر٥	١٦ر٨	١٥ر١	١٢ر٦
ذوبان في الكحول ـ بنزين	٢ر٨	٢ر٢	٢ر١	٢ر٨	٢ر٠	١ر٤

المصدر مأخوذ عن (Farmer,1967) .

وكــمــا يــبــدو في الجـدول فإن تحليل خشــب الـعــصــارة من نوع *(Liquidambar styraciflua)* عند درجتي تحلل بالفطر *Polystictus versicolor* مما أدى إلى خفض في الثقل النوعي بمقدار ٩٠٪ و٦٨٪ على التوالي يظهر مدى الفقد في المكونات إذا ما تمت المقارنة على أساس الخشب الأصلي قبل الإصابة، ففي الجدول لا تظهر الفروق في الأعمدة الثلاثة الأولى قدر ظهورها في الأعمدة التالية التي تبدو فيها الأرقام على أساس الوزن الأصلي للخشب ويظهر بوضوح عند خفض الكثافة بمقدار ٦٨٪ أن السليولوز وصل إلى ٣٩ر٦٪ بدلاً من ٥٧ر٩٪ واللجنين ١٣ر٩٪ بدلاً من ٢١٪ والبنتوزان ١٥ر٥٪ بدلاً من ٢٢ر٨٪ .

هذا وبعض أنواع العطب الأبيض تعطي بقعًا بيضاء من الخشب المتحلل تسمى جيوب العطب الأبيض، وهي مناطق تم فيها التحلل بدرجة أكبر من المناطق المجاورة، ومن الـواضح أن الفطر في هذه الأحوال يستهلك لجنين بمعدل كبير عن استهلاكه للسليولوز؛ ولهذا فإن هذه الجيوب تحتوي على لجنين أقل، وسليولوز أكثر، وقد سبق القول إن اللجنين مقاوم للتحلل المائي الحامضي، وإن كان يتطلب أنزيمات مؤكسدة

ليتم تفككه، وقد أثبتت التجارب ذلك عن طريق اختبار الفينولات الموجودة بعد التحلل، وحمض التانين، وحمض الجاليك، إلا أن مجموعة العطب الأبيض نتيجة لأنها تحلل السليولوز يمكن القول بأنها تحلل المكونات الرئيسة للخشب عن طريق الأكسدة، والتحلل المائي الحمضي معًا، وإذا قارنا نتائج التحليل لأخشاب مصابة بالعطب الأبيض أو العطب البني نلاحظ أن العطب البني يصاحبه ارتفاع الذوبان للنسيج الخشبي في ١٪ (صودا كاوية) يعكس العطب الأبيض والجدول رقم ١٢ يوضح مقارنة بينهما.

جدول ١٢ . مقارنة بين خصائص العطب الأبيض والعطب البني

الخاصيـــة	الخشب المصاب بالعطب الأبيض	الخشب المصاب بالعطب البني
اللـــون	مظهر اللون مبيض	بني محمر
المركبات التي يحللها	الهولوسليولوز واللجنين	الهولوسليولوز
الانكماش	عادي تقريبًا	عالٍ بدرجة كبيرة خاصة في الطولي
المتانـــة	منخفضة جزئيًا	منخفضة بدرجة كبيرة
الصلابـــة	تنخفض بشدة حتى في أولى مراحل الإصابة	تنخفض بشدة حتى في أولى مراحل الإصابة
التأثير على درجة البلمرة	انخفاض تدريجي	انخفاض سريع
حصيلة اللب (على أساس الوزن)	تقريبًا مثل الخشب السليم	منخفض عن الخشب السليم
جودة الألياف	تقارب الخشب السليم	جودة سيئة
الذوبان في محلول ١٪ ص أ يد	أعلى قليلاً من الطبيعي	عاليـــة
العائل المفضل	صالدات الأخشاب	المخروطيات

المصدر مأخوذ عن (Kollmann and Côté, 1968).

العطـــب الطـــري Soft Rot Fungi

برغم أن نمط الإصابة بهذا الفطر في الجدار الثانوي فقط فقد عرف منذ أمد بعيد بواسطة (1937) Bailey and Vestal إلا أن هذه المجموعة لم تعرف على وجه التأكيد إلا بواسطة (1950) Findlay and Savory خلال دراستهم لتحلل الأملاح بالخشب في

أبراج التبريد حيث وجدت تلك المجموعة من الفطر التي تركز اصابتها فقط على الجدار الثانوي وبالذات على الجزء الأوسط منه وقد ظهر من الدراسات فيما بعد (Savory, 1954) أن معظم مجموعة العطب الطري تتبع مجموعة الفطريات الناقصة (fungi imper-feciti) وإن كان لوحظ وجود بعض الفطريات الأسكية (ascomycetes) .

هذا ويشـار لهذه المجمـوعـة بتعبـير العطب الطري أو اللين، وهي توجد في الأخشاب المعرضة للماء، أو المغمورة في الماء كما هو في أبراج التبريد، أو في الجذوع، وهذا بعكس بقية مجاميع الفطريات المدمرة للخشب التي تستلزم وجود الهواء لحياتها، وهذه المجموعة من العطب الطري عادة تكون إصابتها سطحية. وبالتالي فتأثيرها أكبر في الأخشاب صغيرة الحجم، وتتغلغل داخل الخشب في بعض الأحيان إلا أن أساس تحللها يكون في الطبقات المجاورة للأسطح محدثة ليونة من الأسطح، وقد تصبح لينة بدرجـة يسهـل معها قشطها بسهولة، ويظهر التحليل الكيميائي للأخشاب المصابة بخاصة في المراحل الأولى أن الإصابة تركزت في السليولوز والهيمسليولوز فقط وإن كان النقص في تركيز اللجنين يتزايد مع استمرار الإصابة إلا أن الفطر أساسًا فطر مدمر للسليولوز حيث تتمدد هيفاته بداخل الجدار الخلوي الثانوي باتجاه طول الألياف تاركة فراغـات داخل الجدار، هذا وتعد الأخشاب المخروطية أكثر مقاومة عن الصالدات للإصابة بالعطب الطري وقد يكون هذا راجعًا إلى درجة اللجنين العالية في الجدار الثانوي بالمخروطيات مما يعطي حماية للتراكيب السليولوزية في هذه المنطقة من الجدار، كما قد لوحظ أن الإصابة يمكن أن تتم في خشب القلب في بعض الأخشاب التي تعد مقـاومـة لفـطريات أخـرى كما لوحـظت إصـابات في الأخشاب المعالجة بحافظات الأخشاب لمقاومة العطب البني والعطب الأبيض (Farmer, 1967) .

مجموعة الفطريات الملونة للخشب والعفن Wood Staining Fungi

تؤثر هذه المجموعة على القيمة الاقتصادية على عديد من الأخشاب المنشورة، بخـاصة إذا ما أريد إعطاؤها غطاءً يعتمد على ألوانها الطبيعية أو استعمالها بصورتها

الطبيعية، وهناك التلون الحادث نتيجة للتحلل السطحي بالعفن (molds) والتلون الحادث بالفطريات الملونة لخشب العصارة، هذا وتستمد هذه المجموعة غذاءها أساسًا من الخلايا البرانشيمية بالنسيج الخشبي، وبالتالي فهي لا تقوم بإحداث تدمير للمكونات الرئيسة للخشب مثل المجموعات السابقة وبالتالي فهي تخفض المتانة بدرجة قليلة جدًا إلا أن بعض المجاميع المحللة للخشب من هذه المجموعة بازدياد إصابتها تخفض المتانة كما في حالة incipient decay ، هذا والخشب المصبوغ والملون بهذه الإصابة قد يصاب ببعض الفطريات الأخرى والمجموعة المحدثة للصبغة الزرقاء مثل *Ceratocystis* sp. تصيب خشب العصارة في الصنوبريات. كما أن مجموعة الصبغة الصفراء *Paeciliomyces varioti* تصيب أخشاب السنديان، وهذه المجموعة من الفطريات الملونة هيفاتها ذات ألوان مميزة. هذا وتلاحظ أن الخواص الميكانيكية لا تتأثر بالفطريات الملونة إلا في حالة الصلابة التي تنخفض بقلة، ومن الملاحظ أن اللجنين يقوم بحماية الكربوهيدرات في الأخشاب من الإصابة بعديد من أنواع العفن التي لها القدرة على تحلل السليولوز (Bailey *et al.*, 1937) .

الحشرات التي تصيب الأخشاب Wood - Boring Insects

تعد الحشرات أهم أسباب التلف الحيوي للأخشاب بعد الفطريات، وهي تصيب الأخشاب في جميع مراحل إنتاجها سواء بالأشجار، أو بعد تحويلها إلى جذوع، أو بعد نشرها وتصنيعها في صورة ألواح أو أثاث، وهي تصيب الأخشاب عند درجات مختلفة من الرطوبة. هذا وتختلف مجاميع الحشرات التي تصيب الأشجار والأخشاب حسب المنطقة فتلك التي تصيب الأخشاب في المناخ الاستوائي الرطب تختلف عن تلك التي تصيب الأخشاب في المناطق المعتدلة أو الجافة، فبينما تعد مجموعات النمل الأبيض termites وبعض عائلات غمدية الأجنحة مثل Bostrychidae من أهم مجموعات الحشرات المدمرة للأشجار والغابات في المناطق الاستوائية فإن مجموعات النمل الأبيض مع حفارات الأخشاب من جنس *Lyctus* ، وخنافس الأثاث *Anobium* ، وجنس Hylotrupes ، وعائلة Cerambycidae ، ورتبة غمدية الأجنحة عمومًا تعد مهمة في المناطق المعتدلة أو الجافة.

النمـل الأبيـض Termites

وهذه المجموعة من الحشرات تضم حوالي خمسة آلاف نوع داخل رتبة متساوية الأجنحة Isoptera ، ومنها خمس عائلات من النمل الأبيض (Snyder, 1949) ، ويضم النمل الأبيض ثلاثة أقسام هي :

١ ـ المجموعة الأرضية (Subterranean) مثل عائلة Rhinotermitidae التي يعزى إليها ٩٥٪ من جملة إصابات النمل الأبيض في الولايات المتحدة الأمريكية مثلاً (Kollmann and Côté, 1968) .

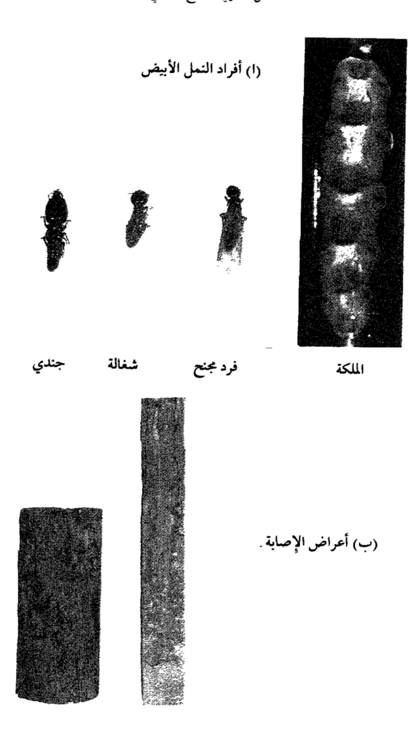
٢ ـ المجموعة الرطبة التي تنتشر في المناطق الاستوائية مثل جنس *Zootermopsis* .

٣ ـ المجموعة الجافة مثل عائلة Kalotermitidae (Snyder, 1949) .

هذا ويقـوم النمل الأبيض بالغذاء على السليولوز وغيره من عديدات التسكر الأخـرى بالخشب، وتسـاعـده الـبروتـوزوا الـموجودة في أمعائه على هضم المركبات السليولوزية ومشتقاتها. هذا ويقوم النمل الأبيض بالهجوم على الأخشاب سواء كانت متحللة أو جافة وسليمة، وللنمل الأبيض مميزات حياته الخاصة التي يمكن الرجوع إليها في عديد من المراجع الحشرية المتخصصة في مجال الحشرات (حصاد، ١٩٧٠م) ويبين الشكل رقم ٤٦ أنواع أفراد النمل الأبيض ومظاهر الإصابة على الأخشاب.

خنافس «المساحيق» من الليكتس Lyctus Powder Post Bettels

وهـذه المجمـوعـة من الخنـافس تصيب الأخشـاب تامة الجفاف من مجموعة صالـدات الأخشـاب، وتقـوم حشراتها بوضع البيض في الثقوب أو الأوعية الخشبية (vessels) وعند فقسها تخرج اليرقات لتحفر أنفاقًا في الخشب، وهي تتركز في إصابة خشب العصـارة بالجـذوع المقـطوعـة، وعادة ما تتغذى هذه الخنافس على محتويات الخشب من النشا بدون هضم لمكوناته الكيميائية، ومن أمثلتها *L. africans* التي تحدث يرقاتها أنفاقًا ذات أقطار تتراوح من ٢٫٥ إلى ٣٫٥ملم، وتصيب أساسًا الجذوع المقطوعة في المناطق المعتدلة أو الجافة (حماد، ١٩٧٠م).



شكل ٤٦ . التحلل الحيوي للأخشاب كما يسببه النمل الأبيض

خنافـس الأثـاث

وهي تتبـع عائلة Abobiidae مثـل *Anobium penctatum* ، ومثـال لها أيضـًا خنفسـاء الأثاث الكبيرة *Oligomerus ptilinoies* وتحدث يرقاتها أنفاقًا لها ثقوب ممتلئة بمسحوق الخشب والبقايا. أما خنفساء الأثاث الصغيرة وطولها ٤ـ٥ملم وهي المسماة *Nicobium castaneum* فثقوبها أقطارها ٣ـ٤ملم (حماد، ١٩٧٠م). هذا ويرقات هذه الحشرات تعيش داخـل أنفـاق تسـدهـا ببقايا غذائية، وتعتمد أساسًا على محتويات الخشب من البروتين، ولهذا تتركز في الحلقات النموية الخارجية من السيقان الشجرية والأخشاب الناتجة منها، وإن كانت الطبيعة الكاملة لنمط غذائها غير معروفة بصورة مؤكدة (Farmer, 1967) .

الخنفساء ذات قرون الاستشعار الطويلة House Long Horn Beetles

وهي من عائلة Cermbycidae ، ومنها تلك المسماة *Hylotrupes bajulus* ، وتقوم بهضم السكـريات بالخشب وعـديدات التسكـر، وتهضمها بتحلل مائي من خلال أنزيمات بأمعائها، وإن كانت لها متطلبات بروتينية أيضًا بالإضافة إلى قدرتها على تحليل اللجنيين.

خنافـس Death-Watch Beetles

وهـذه الخنـافس معـروفة في أوربا وإن كانت تنتشر في بلدان عديدة بالشرق الأوسط وتصيب الأخشاب بالمباني القرعية، وهي تفضل الأخشاب المتحللة جزئيًا، وتقـوم بهضم عديدات التسكـر واللجنين بالأخشاب (Farmer, 1967) ودورة حياتها أقصر في الأخشاب المتحللة عن السليمة، وهذا راجع إلى مقاومة الأخشاب السليمة لحفر اليرقات داخلها بالإضافة إلى المحتوى النتروجيني العالي بالأخشاب المتحللة.

هذا وهناك مجموعة من الحفارات تعرف باسم shot-hole حيث تحدث ثقوبًا مثـل ما تحدثه ثقوب البنـادق (الخرطوش)، وتوجـد فـي المناطـق الدافئـة، وتتبـع عائلـة Boslrichidae وتقوم بالحفر في الأخشاب، أو البامبو مثل *Dinoderus minutus* Fab. ،

أو حفار ساق غاب البامبو. هذا والمجموعة لا تعد من الأهمية بمكان مثل المجموعات السابقة من الحشرات. كذلك هناك مجموعات النمل النجار أو Carpenter ants من جنس *Camponotus* ، وهي تفضل الأخشاب ذات المحتوى الرطوبي الأعلى من ١٥٪ (Simone, 1961) كما يوجد النمل النجار المنتمي إلى رتبة Hymenoptera من جنس Xylocopa وكلا النوعين من النمل النجار الذي يستخدم الخشب كمأوى أساسًا، وتحدث أنفاقًا به لهذا الغرض (Simone, 1961) ومن الرتبة نفسها التابع لها النمل النجار وهي Hymenoptera تأتي حشرات Horntail مثل جنس *Sirex* وهي تصيب الجذوع المقطوعة أساسًا، وإن كانت قد تصيب بعض المنتجات الخشبية، وتحدث ثقوبًا في الأخشاب وتعمل اليرقات أنفاقًا في الخشب خلال فترة حياتها، وتصل إلى طول ٥سم ثم تدخل في طور العذراء قرب السطح المصاب.

هذا ومن ضمن تقسيمات الحشرات التي تصيب الأخشاب تقسيم يتبع مظاهر الإصابة، وهذه إما ذات الثقوب الدبوسية (Pinholes) أو ذات الثقوب البيضاوية (Grub holes) ، والأخيرة تحدث ثقوبًا يصل قطرها إلى ٧ملم تقريبًا؛ وهاتان المجموعتان تصيبان الخشب غير المنشور أساسًا، أما المجموعات من الخنافس والنمل الأبيض فتصيب الخشب المنشور أو غيره، وهذا التقسيم الأخير راجع إلى مظهر الإصابة، وأوردته بعض المراجع مثل بدران وقنديل؛ (١٩٧٩م).

النخــــارات البحريـــة Marine Borers

النخارات البحرية تعبير يطلق على مجموعة من أفراد المملكة الحيوانية تصيب الأخشاب إما من أجل الغذاء وإما من أجل الاثنين الغذاء والمأوى، وهي تصيب الأخشاب المغمورة في المياه بغض النظر عن مستوى الأملاح في هذه المياه. والواقع أن النخارات البحرية تسبب تلفًا كبيرًا في عديد من المواقع للأخشاب المستخدمة في السفن أو القوارب أو ما شابهها من الاستعمالات، وقد تتم الإصابة ولو كانت الأخشاب معالجة بالكيماويات الحافظة المتعارف عليها إلا أن هناك أخشابًا مقاومة

بطبيعتهـا؛ ولهـذا تستخـدم، ومثلهـا بعـض الأخشـاب الإفـريقيـة المقـاومـة مثـل خشـب أوبيـي . *(Nauclea diderrichi)* opepe وخشـب *(Chlorophra excelsa)* iroko وخشـب *(Lophira ekkielata)* وهي أخشـاب أفـريقية على درجة كبيرة من المقاومة للنخارات البحرية خاصة إذا ما استخدم خشب القلب منها. هذا وتستخدم في بعض الأحيان ـ في الأخشاب متوسطة المقاومة ـ طرق طاردة، أو بعض الكيميائيات ذات التـأثـير السـام الـطارد لهذه الحيوانـات البحرية الدقيقة، وإن كان المفضل دائمًا هو استخدام أخشاب ذات مقاومة طبيعية من حيث تركيب المستخلصات الخشبية الموجودة فيها، مثل تلك التي ذكرت آنفًا، وإن كانت بعض المراجع قد تذكر معالجات كيميائية كالمعـالجـة بكريوزوت قـار الفحـم تحـت تفريـغ باستخـدام طريقـة المعالجـة ذات الخليـة الكاملـة تحـت تفريـغ (Becker, 1962, Hunt and Garratt, 1953) .

أقســام النخــارات البحريــة

بصورة عامة فإن هناك عديدًا من الأنواع من الحيوانات البحرية الدقيقة تقوم بتدمير الأخشاب المغمورة في مياه الأنهار والشواطيء البحرية، ويمكن وضعها بصورة عامة تحت مجموعتين كبيرتين. هما الحفارات الرخوة (molluscan borers) ، والمجموعة الأخرى هي النخارات القشرية crustacean borers ، والمجموعة الأولى يتبعها أجناس *Martesia, Bankia* و *Nausitora* و *Teredo* والأخـير له أهمية كبـيرة خاصة في المناطق المعتـدلـة، ويتبعـه ديدان السفن، وهي ديدان مسـتـطيلة تصيب السفن وتنخـر في الأخشاب المغمورة في المياه محدثة تلفًا كبيرًا أما المجموعة الأخرى من النخارات القشرية فهي مثـل جنس *Limnoria* الـذي يضم حوالى عشرين نوعًا، وجنس *Sphaeroma* وجنس *Chelura* ، وإن كان أخطرها الجنس الأول (Menzes, 1959) ، وهذه المجموعة يضاعف في كمية غذائها من الأخشاب المصابة تواجد بعض الفطريات التي تصيب الأخشاب من المجموعة الفطرية الأسكية والناقصة (Becker, 1962) .

الأساس الكيموحيوي لتحلل الأخشاب

Principles of Biochemical Deterioration of Wood

إن نمط وفاعلية تحلل الخشب الذي يبدو ببساطة تحت الميكروسكوب أو في مظهره العام في شكل تفتت لجدر الخلايا الخشبية راجع لتكسير البوليمرات المكونة لنسيج الخشب عن طريق أنزيمات تفرزها هيفات الفطريات المحللة عند إصابتها للأخشاب، وقد أسهمت عديد من الدراسات التي أجريت على المركبات الخشبية في بيئات معزولة في شرح ميكانيكية التفاعلات الكيموحيوية المسؤولة عن تحلل السليولوز والهيمسليولوز واللجنين، وإن كان معظم الدراسات أتت بنتائج قيمة عند دراستها للإصابة في الأخشاب، وإذا حاولنا أن ننظر إلى الموضوع من وجهة نظر التأثير الفعلي للأنزيمات التي تفرزها هذه الفطريات، ومدى تحليله للسليولوز والبوليوزس واللجنين فإننا قد نستطيع أن نتفهم بعمق أكثر، خطوات مثل هذه التفاعلات المؤدية لتحلل الأخشاب. بالفطريات أساسًا، وهو ما سنحاوله في هذا الجزء من الباب الحالي.

الفطريات المحللة للسليولوز

إن الفطريات من هذا النوع تشمل العطب البني والعطب الطري، وفي بعض الأحيان يؤثر نوع من العطب الأبيض على المناطق البللورية من السليولوز (Kirk & Cowling, 1984) . ويذكر المرجع نفسه أن هناك ثلاثة أنواع من الأنزيمات المحللة مائيًا هي الأندوجلوكوناز (endo-1,4-B-glucanases) وأكسوجلوكوناز (exo-1,4-B-glucanases) والجلوكوسيديز، وهذه الأنزيمات تستطيع أن تحلل السليولوز البللوري. هذا والنتائج التي أوردها المرجع السابق توضح أن الأندوجلوكوناز أنزيمات تؤثر على السطح الخارجي للميكروفبرلات السليولوزية، ويليها تحلل مائي لأنزيمات الجلوكانزز منتجة وحدات سليولوز ثنائية أو سلوبيوز الذي يتعرض إلى تكسير الرابطة الجلوكوسيدية بأنزيم الجلوكوسيدز لتعطي جلوكوز وبالإضافة إلى هذا فإن بعض أنزيمات الأكسدة قد تدخل في تحلل السليولوز الناتج عن الإصابة بالعطب الأبيض، وينتج عن تأثير أنزيم سلوبيوز أكسيديز أن ينتج سلوبيونوجامالاكتون وفي هذا يقوم الأكسجين بدور مستقبل للالكترون.

هذا وتحلل السليولوز بالعطب البني يتم بصورة مغايرة، حيث يفقد السليولوز بلمرته بسرعة في المراحل الأولى للإصابة، وهذا يفسر انخفاض المتانة بشدة في حالة الإصـابـة بالعطب البني، والعامل المزيل للبلمرة الذي يفرزه العطب البني يستطيع إصـابـة وتغلغـل الميكـروفـبرلات السليولـوزية تمامًا، وهذه الأكسدة المزيلة للبلمرة للسليولوز تؤدي إلى تسكير الجدر الخلوية مما يسهل عمل الأنزيمات المحللة للسليولوز والبـوليوزس حيث يعـرض المواد السليولوزية والهيمسليولوزية لفصلها المؤثر، ويظهر نتيجة لهذا الزيادة الكبيرة لذوبان الخشب في محلول ١٪ صودا كاوية الذي يعد من خصائص الإصابة بالعطب البني، والذي يظهر بوضوح تكسر البناء الكيميائي للجدر الخلوية، ونقص البلمرة الشديد في السليولوز بها.

الفطريات المحللة للبوليوزس

كما أشرنا في الباب الثالث عن التركيب الكيميائي لهذا نستخدم تعبير البوليوزس لنشير للمجموعة المسماة تقليديًا بالهيمسليولوز أو عديدات التسكر الأخرى، الواضح أن الفـــطريات المحللة للخشب تنتـج أنـزيمات قادرة على التحليل المـائي للروابط الجلوكوسيدية وبصورة تفصيلية فإننا لا يمكن أن نجزم بشيء عن تفاصيل التفاعلات الكيميائية وإن كان من الواضح أن المجاميع الثلاث من الأنزيمات السابق الحديث عنها قد تكون هي المؤثرة نفسها ونستطيع أن نقول إن مجموعة أنزيمات أندوجلوكوناز سواء كانت من العطب البني أو الأبيض أو الطري فإن تأثيرها المذكور سابقًا يعمل بصورة عشـوائية على أسـطح الميكـروفبرلات السليولوزية ليعطي مركبات ثنائية البلمرة، أو مختلطة البلمرة هذا والأنزيمات المؤدية للتحلل المائي للزيلوز وحمض اليورونيك مازالت غير محددة على وجه الدقة أو معروفة (Kirk and Cowling, 1984) ، كما يوجد أنزيمات الجكوسيداز بالإضافة إلى المانانيز (في العطب البني).

الفطريات المحلـــلة للجنين

تشير الأبحاث عن العطب الأبيض إلى أن التفاعلات المؤدية لتحلل اللجنين معظمها تفاعلات أكسدة، وأكدت عديد من البحوث أن تحلل اللجنين يختلف أساسًا

عن السليولوز والبوليوزس، بل وعن غيره من البوليمرات الحيوية، والتحلل الحيوي في اللجنين بالعطب الأبيض يأخذ عدة خطوات، فيبدأ بالأكسدة، ثم تكسير وانشقاق أكسدة في حلقة البروبيل الجانبية ثم عملية إزالة المثيل من مجموعة المثوكسيل وانشقاق في الحلقة العطرية (Kirk and Cowling, 1984) هذا وقد أشار عديد من البحوث في البداية إلى أن تحلل اللجنين راجع إلى مجموعة الأنزيمات المؤكسدة للفينولات مثل laccase والبيروكسيداز peroxidase ، وإن كانت البحوث الحديثة تشير الآن إلى أن الأزيمات بصورة عامة لها دخل في تحليل اللجنين بالإضافة إلى تأثير مجاميع الهيدروكسيل والأنزيمات من extracellular التي تتطلب وجود H_2O_2 ليسهل التفاعل المؤدي إلى تكسير اللجنين الخلوي. هذا والعطب البني والعطب الطري يحدث تحللاً في اللجنين بدرجات قليلة، ولكن بالنمط نفسه والطريقة مثل العطب الأبيض.

المراجـــع

المراجع العربية

بدران، عثمان وعزت قنديل، السيد ١٩٧٩. *أساسيات علوم الأشجار وتكنولوجيا الأخشاب*. دار المطبوعات الجديدة. جمهورية مصر العربية.

حماد، شاكر وعبدالسلام، أحمد ١٩٧٠. *الحشرات الاقتصادية*. دار المعارف. جمهورية مصر العربية.

المراجـع الأجنبيـة

Bailey, I.W. and M.R. Vestal, 1937. The Significance of Certain Wooddestroying Fungı in the Study of Enzymatic Hydrolysis of Cellulose. *J. Arnold Arboretum.*, 18: 196-205.

Becker, G. 1962. Status of Bıology and control of Marine Borers. *Proceedıngs: Fifth World Forestry congress*, Scattle, Washington. pp. 1522-1530.

Cartwright, K.G. and Findlay, W.K. 1950. *Decay of Timber and its Preservation.* Chemical Publ. Co. Inc. New York. 294 p.

Cochrane, V.W. 1958. *Physiology of Jungi.* J. Wiley & Sons Inc. New York. 524 p.

Farmer, R.H. 1967. *Chemistry in the Utilization of Wood.* Chapter 9 Pergamon Press. New York. pp. 128-142.

Findlay, W.K. and Savory, J.G. 1950. Breakdown of Timber in Water-Cooling Towers. *Proceedings: Intl. Bot. Congress, 7: 315-316.*

Hunt, G.M. and Garrat, G.A. 1953. wood preservation. 2nd ed. McGraw-Hill. New York. 417 p.

Kirk, T.K. and Cowling, E.B. 1984. Biological Decomposition of solid Wood. chapter 12 In: Rowell, R.M. (Ed.) *The Chemistry of Solid Wood* American Chemical Soc. Washington D.C., pp. 455-487.

Kollmann, F.P. and cote, W.A. 1968. *Principles of Wood Science and Technology.* Springer Verlag. New York. 592 p.

Menzie, R.J. 1959. the Identification and Distribution of the Sprcies of Limnoria. In: Dixy Lee Ray, (Ed.) *Marine Boring and Fouling Organisms.* Univ. of Washington Press.

Savory, J.G. 1954. Damage to Wood Caused by Microorganisms. *Proceedings Symposium on Microbial Spoilage in Industrial materials. Paper III. J. App. Bact.*, 17: 213-218.

Somone, J.B. 1961. Poly Deterioration by Wood Destroying insects. *Proceedings Eastern Wood Pole Confer.*, State Univ. college of Forestry at syracuse. pp. 15-22.

Snyder T.E. 1949. *Catalogue of the Termites (Isoptera) of the World.* Pub. No. 3953. Smithsonian Misc. Collection. Vol. 112.

الخواص الفيزيائية للأخشاب

Physical Properties of Wood

● كثافة الأخشاب ● علاقة الأخشاب بالسوائل ● انتفـاخ الأخشـاب وانكماشها ● الخواص الحـراريـة للأخشـاب ● الخواص الصوتية والكهربية للأخشاب ● المراجع .

كثافة الأخشاب Wood Density

تعد كثافة الأخشاب أو النسبة بين الكتلة والجسم أو كتلة وحدة الحجوم من أهم الصفات الفيزيقية للأخشاب، وعادة ما يعبر عن كثافة الخشب من خلال الثقل النوعي (specific gravity) ، وهو عبارة عن وزن المادة الخشبية كنسبة من وزن حجم مساوٍ من الماء وعادة ما يعبر عن الوزن في حالة الجفاف التام (oven-dry weight) . أما الجسم فقد يحسب مساويًا لحجم القطعة الخشبية موضع القياس عند أي مستوى رطوبي، أو عند حالة الخشب الخضراء وهو منتفخ بالماء ويسمى green volume (Markwardt, 1926) .

ولهذا فعند تقدير الثقل النوعي ينص دائمًا على المحتوى الرطوبي وبالتالي الحجم الذي تم على أساسه تقدير الثقل النوعي وعلى هذا فهناك ثلاث أحوال تقاس فيها كثافة الأخشاب معبراً عنها بالثقل النوعي .

تقديــر الثقــل النوعــي بالأخشــاب

يتم هذا بمعادلات كما يلي :

معادلة (٦-١) . . $S_{o.d} = \frac{Wo.d.}{Vo.} = \frac{\text{الوزن الجاف}}{\text{الحجم الجاف}}$

أو

معادلة (٦-٢) . . $S_{m.c} = \frac{Wo.d.}{Vm.c} = \frac{\text{الوزن الجاف}}{\text{الحجم عند محتوى رطوبي محدد}}$

أو

معادلة (٦-٣) . . $S_{Gr} = \frac{Wo.d.}{Vgr.} = \frac{\text{الوزن الجاف}}{\text{الحجم الأخضر فوق نقطة تشبع الألياف}}$

هذا وهناك طرق عديدة لتقدير الثقل النوعي وقياسه، وإن كان لا يوجد طريقة بعينها محددة قياسيًا وعمومًا فإن من أفضل وأسهل الطرق لتقدير الثقل النوعي للعينات غير منتظمة الشكل وهو استخدام طريقة الإزاحة عن طريق قياس وتقدير وزن الطفو للعينة منتفخة خضراء مع تعليقها في الماء بواسطة ذراع، ووضع سائل الإزاحة وهو الماء في هذه الحالة فوق ميزان حساس، وتؤخذ القراءة على الميزان قبل غمر قطعة الخشب، والقراء بعد الغمر نحصل من الفرق على وزن سائل الإزاحة الناتج عن حجم الخشب الأخضر المغمور، وبفرض أن كثافة الماء هي الوحدة؛ فإن هذا الوزن يساوي (بدقة مسموح بها) الحجم الأخضر للقطعة الخشبية بعد هذا تجفف قطعة الخشب، ويحسب الوزن الجاف، وبقسمة الوزن الجاف على الحجم الأخضر نحصل على الثقل النوعي الأساسي، أو Basic Sp. Gr ، وهذا هو أساس قياس الثقل النوعي وتقديره بقياس الحجم الأخضر. كما وأنه يمكن استخدام سوائل أخرى غير قطبية للإزاحة إذا كان المطلوب قياس الوزن والحجم الجاف. كذلك يمكن تقدير الثقل النوعي للعينات الخشبية الصغيرة عن طريق الإزاحة داخل أجهزة سبق ملؤها بالزئبق، وتقدير الحجم الجاف باستخدام الزئبق كسائل إزاحة. هذا وهناك طريقة أخرى لتقدير الثقل النوعي للعينات الصغيرة عن طريق ما يسمى بالمحتوى الرطوبي الأقصى (Smith, 1954) ، وتتضمن الطريقة تشبيع العينة الصغيرة الخشبية بالماء عن طريق التفريغ حتى تمام غمرها تحت سطح ماء مقطر، ثم حساب وزنها عند هذه الحالة، وبعدها تقدير الوزن الجاف ويحسب الثقل النوعي بالمعادلة:

$$S = \frac{1}{(m.c. + 1/S_c)}$$ معادلة (٦-٤) . .

حيث

m.c هي محتوى التشبع الرطوبي الأقصى

S_c هي الثقل النوعي لمادة الجدار الخلوي كما تقدر في الماء (تساوى ١٫٥٣) في المتوسط .

وهذه الطريقة سهلة، وإن كان لها عيوبها حيث إن الماء لا يمكن أن يتغلغل مكان الفراغات البسيطة في الخشب خاصة خشب القلب مما يؤدي إلى أخطاء تصل إلى ٥٪ (Stamm, 1964) .

كما أن الثقل النوعي لمادة الجدار الخشبي يتفاوت في قيمه، ويتراوح ما بين ١٫٥-١٫٥٥ ويمكن أيضًا أن يتفاوت في الأخشاب الراتنجية، وعلى هذا فاستخدام القيم التقريبية ١٫٥٣ ينتج عنه خطأ قد يصل إلى ٢٪، هذا وتتراوح كثافة الأخشاب بصورة كبيرة فالثقل النوعي لأخشاب البالسا حوالي ٠٫١ بينما تصل أخشاب الخشب الحديدي *Lignum vitae* إلى ١٫٣ إلا أن الأخشاب التي تستخدم بصورة عامة في العالم تتراوح ما بين ٠٫٣٥ إلى ٠٫٦٨ في قيمتها لقياس الثقل النوعي عند محتوى رطوبي يصل إلى حوالي ١٢٪ (Wood Handbook, 1974) .

الثقل النوعي لمادة الأخشاب والسليولوز

في الواقع أن هناك اختلافات في الثقل النوعي للأخشاب، وترجع بصور محددة إلى متغيرات كثيرة إلا أن من أهم هذه المتغيرات مكونات الجدار الخلوي الكيميائية، وإذا قيمت كثافة مادة الأخشاب كما هي بالجدار الخلوي فإننا نجد فروقًا قليلة جدًا ما بين الأجناس المختلفة وبعضها خاصة إذا ما اتبعنا طريقة محددة لقياس الكثافة ووسط محدد لتقدير الحجم المستخدم من مادة الجدار الخلوي، فاستخدام الماء كمادة لتقدير الحجم عن طريق الإزاحة نحصل على قيم عالية للثقل النوعي عما لو استخدمنا سوائل

أخرى غير قطبية أو أوساط أخرى غير نافخة مثل استخدام غاز الهليوم (Richardson, 1961, Mark, 1967)

وفي مثـل هذه الأحـوال تؤخـذ جميع الأحتياطـات لإزالة الهواء من الفراغات الصغيرة الدقيقة بالنسيج الخشبي المستخدم، وتستخدم معادلة بسيطة لحساب الثقل النوعي كمايلي: (Schiewind, 1962, Wangaard, 1950)

معادلة (٦ـ٥) . .
$$S_c = \frac{W_d(R_l)}{W_c-(W_l-W_d)}$$

حيث S_c هي الثقل النوعي لمادة الجدار الخشبي

W_d هي الوزن الجاف لمادة الجدار الخلوي الخشبي .

W_c وزن الماء الكلي المالي لإناء الإزاحة .

R_l كثافة مادة سائل الإزاحة (الماء) .

W_l حجم الخشب مع الماء الإضافي لملء إناء الإزاحة .

والمعادلة ٦ـ٥ مأخودة عن Stamm, 1964 وهي تماثل المعادلة ٦ـ١ في مضمونها .

ويمكن تقدير الثقل النوعي للمادة الخشبية أو السليولوزية بهذه الطريقة كذلك فقد أمكن تقدير الثقل النوعي للمادة الخشبية بحساب الجسم باستخدام غاز الهليوم المزاح بواسطة حجم المادة الخشبية وقد أوضحت عديد من المراجع الأجهزة التي يمكن استخدامها لذلك (Stamm, 1964) .

ويوضـح الجـدول رقم ١٣ تفـاوت الثقـل النوعي للمادة الخشبية داخل نطاق ضيق باستخدام الماء كسائل إزاحة عند درجة حرارة ٢٥°م (مأخوذة عن Stamm, 1964) .

جدول ١٣ . الثقل النوعي للمادة الخشبية

الجنس الشجر	الثقل النوعي للمادة الخشبية
سبروس	١٫٥٢٨
صنوبر لوبلولي	١٫٥٣١
صنوبر أصفر	١٫٥٢٩
سنديان أبيض	١٫٥٤٠

هذا باستخدام عدة أنواع من السوائل كوسط لغمر الخشب لتقدير الحجم بالإزاحة نلاحظ تغيراً بيناً في القيم المتحصل عليها كما أورد هذا Stamm, (1964) ويلاحظ في الجدول رقم ١٤ أن هناك انخفاضاً في القيم المتحصل عليها مع انخفاض قدرة الانتفاخ التي لهذه السوائل.

جدول ١٤ . تباين كثافة مادة الجدار الخلوي حسب تغير سائل الإزاحة (عن : Stamm, 1964)

سائل الإزاحة	قدرة الانتفاخ للسائل ٪	كثافة مادة الجدار الخلوي
ماء	١٠٠	١٫٥٤٨
كحول إيثيل	٨٣	١٫٥٣٧
كحول بروبيل	٤٥	١٫٤٨١
كلوروفورم	٥٫٢	١٫٤٧٨
بنزين	صفر	١٫٤٧٦

ويمكن تفسير ذلك بسبب أن جزيئات السوائل النافخة للخشب يتم ترتيبها داخل تكوينات الجدار، وبالتالي تأخذ حجماً أصغر، كما أن تغلغل الفراغات الدقيقة بالجدار يزيد كما زادت قدرة الانتفاخ في السوائل أي كلما زادت قدرتها على إحداث زيادة انتفاخية في نسيج الجدار الخشبي ، ولهذا فإن سائلاً مثل الماء أو سائلاً لا يحدث انتفاخاً مثل البنزين يتساويان من حيث إن كلاً منهما لا يعطي قيمة حقيقية لكثافة

النسيج الخشبي، فأحدهما يعطي قيمة عالية، والآخر يعطي قيمة منخفضة نسبيًا، وهذا ما أدى إلى تجربة أوساط غير نافخة للنسيج الخشبي، وأيضًا غير قابلة للادمصاص على الجدر الخشبية (والسليولوز) مثل غاز الهليوم الذي له قدرة عالية على تغلغل الفراغات الدقيقة بالجدار الخلوي، ويأخذ مقلوب قيمة الثقل النوعي نحصل على قيمة هي قيمة الحجم النوعي وقد تحصل الباحثون على قيم مختلفة تتفاوت بدرجة قليلة جدًا حسب وسط الإزاحة إلا أن الهليوم أعطى أفضل البيانات الوسطية بين القيم المتحصل عليها باستخدام الماء كوسط بين القيم المتحصل عليها باستخدام سوائل غير نافخة كوسط (مثل البنزين وتتراكلوريد الكربون) والهليوم كغاز لايدمص على الجدر يعطي بالتالي قيم حجم نوعي أكبر عن الماء (ثقل نوعي أقل) وله القدرة على تغلغل الفراغات الدقيقة بالجدار الخلوي وكانت القيم في خشب السبروس (spruce) خالي المستخلصات ٦٥٣ر٠ في حالة الماء و٦٨٥ر في حالة الهليوم و٦٩٣ر في حالة البنزين، أما إذا انتفخت العينة بمعاملتها بالماء أولاً ثم استبدل هذا بالبنزين تكون القيمة ٦٩٠ر٠ وهذا الفرق الأخير في الحجم النوعي راجع إلى الحجم الفراغي (void volume) لمادة الجدار الخلوي الجافة (Mark, 1967 Kollmann and Côté, 1968, Stamm, 1964) .

وهذا لأن تغلغل الفراغات الدقيقة بالبنزين خلال الغمر لتقدير الحجم يحدث بصورة أفضل إذا تم انتفاخ النسيج الخشبي لجدار الألياف بالماء أولاً، ثم استبدال ذلك بالكحول، ثم استبدال الكحول بالبنزين، وهذا الاستبدال يترك النسيج الخشبي في حالة انتفاخ تسمح بتغلغل البنزين بصورة أفضل في الفراغات، ونلاحظ هنا أن الماء المتبقي بعد إحداث الانتفاخ كماء مدمص على الجدر الخلوية له ثقل نوعي حوالي ١١٥ر١ (Stamm, 1964)، ولهذا يجب أن تصحح قيم الحجم النوعي المتحصل عليها حسب حجم هذا الماء المتبقي في مادة الجدار وثقله النوعي معًا. هذا ويتم حساب الثقل النوعي للماء المدمص على الجدر الخلوية عن طريق الفرق بين الحجم النوعي للمادة السليولوزية مقدرة في الهليوم، وفي الماء ومن هذه القياسات أمكن التوصل إلى أن متوسط الثقل النوعي للماء المدمص هو ١١٥ر١، وإن كنا يجب أن نذكر أن كل الماء المدمص ليس له الثقل النوعي نفسه، وهذا راجع إلى درجة انضغاطه في أماكن

ادمصاصه بالجدر الخلوية، فقوة جذب جزيئات السليولوز لجزيئات الماء التي تصل إليها أولاً هي قوة أعلى من تلك التي تجذب بها جزيئات الماء في البداية تكون ضعف هذه التي تتجاذب بها جزيئات الماء معًا (Stamm, 1964)) ، والمرجع نفسه يحسب أن هذه القوى الأولى للجذب قادرة على إحداث انضغاط للماء المدمص تجعل ثقله النوعي يصل إلى ١٫٣٠ ، ويقدم عديد من المراجع منحنيات لهذا مثل Brown *et al.* في عام ١٩٥٢م وغيره الذي يبين أن قرب محتوى رطوبي صفر مئوي يكون الثقل النوعي للماء المدمص حوالي ١٫٣٠ ، بينما يكون ١٫١٦ عند محتوى رطوبي قدرهة ١٦٪ .

الحجـــم الفراغـــي بالأخشـاب

هذا الحجم عبارة عن الحجم الذي لا تشغله مادة الجدار الخلوي، وهذا الحجم الجزئي من الحجم الكلي لقطعة الخشب يقدر حجم الفراغات الكلية بقطعة الخشب بالمعادلة ٦ـ٦ عند محتوى رطوبي جاف (صفر رطوبة) .

معادلة (٦ـ٦) . .

$$V_v = 100\,(1 - \frac{S_{od}}{1.53})$$

حيث S_{od} هو الثقل النوعي عند حجم ووزن جافين .

وبصورة أخرى يمكن إعطاء معادلة عامة لقياس الحجم الفراغي الفعلي لقطعة الخشب (V_v) بالمعادلة التالية (٦ـ٧) وهي مثل التي أعطاها Stamm, (1964) .

معادلة (٦ـ٧) . .

$$V_v = 1 - S\left[\,(1/S_c) + (m.s/\varrho s) + (m/\varrho)\right]$$

حيث S الثقل النوعي عند الرطوبة المحددة (وزن جاف وحجم أخضر)

S_c الثقل النوعي لمادة الجدار الخلوي

m.s. الماء المدمص بالجرام لكل جرام من الخشب الجاف تحت تشبع الألياف .

m هو المحتوى الرطوبي الحر في الفراغات الشعرية الكبيرة .

← ϱ الثقل النوعي للماء عند درجة حرارة الغرفة.
← ϱs الثقل النوعي للماء المدمص.

هذا وفي حالة إمتلاء الجدر الخلوية بالماء (عند نقطة تشبع الألياف) أو فوقها فتعدل المعادلة السابقة لتصبح.

معادلة (٦-٨) . . $V_{v\,t\,s\,p} = 1\text{-}S_c\left[(1/S_{m\,c}) + (m_s + m/\varrho)\right]$

حيث S_c هي الثقل النوعي لمادة الجدار الخلوي مقدرة في الماء.

الثقل النوعي والمحتوي الرطوبي للأخشاب

المحتوى الرطوبي للأخشاب هو نسبة الماء بالوزن في قطعة الأخشاب إلى الوزن الجاف للقطعة الخشبية، ويعبر عن المحتوى الرطوبي كنسبة مئوية على أساس الوزن الجـاف للخشب، وقـد سبق أن حسبنا بمعادلات (٦-٦)، (٦-٧)، (٦-٨) حجم الفراغات الكلية في قطعة خشبية ذات حجم محدد، وعلى هذا فوزن المحتوى الرطوبي الأقصى بالأخشاب يمكن حسابه كمايلي:

معادلة (٦-٩) . . $W_w = (V_v)$ (٦٢٫٤)

ونلاحظ هنا أن الحجم محسوب بالقدم المكعب.
حيث W_w وزن المحتوى الأقصى من الماء.
V_v الحجم الفراغي الأقصى بالخشب.

كذلك فإن ٦٢٫٤ هي وزن قدم مكعب من الماء عند حرارة الغرفة.
وعلى هذا فإن المحتوى الرطوبي الأقصى كنسبة تعطي بالمعادلة التالية

معـادلة (٦-١٠) . .
$$M_{max} = \frac{W_w}{W_{o\,d.}} \times ١٠٠$$

ويمكن اشتقاقها بمعادلات مشتقة من المعادلة (٦-٧) كما يلي M_s = ٢٨ر٠ عند تشبع الألياف حيث إن الحجم الفراغي في الأخشاب عند المحتوى الرطوبي الأقصى صفر فإنه

$$\text{صفر} = 1 - S\left(\frac{1}{1.53} + m_s + \frac{M_{max} - m}{1}\right)$$

$$= 1 - \frac{S}{1.53} - S\,(M_{max})$$

معادلة (٦-١١) . .
$$M_{max} = \frac{1.53 - S}{(1.53)\,(S)}$$

ويمكن حسابها على أساس الكثافة (وزن جاف وحجم جاف) بالمعادلة :

معادلة (٦-١٢) . .
$$M_{max} = \left(\frac{1.53 - S_{o\,d}}{(1.53)\,(S_{o\,d})}\right) + (٠,٢٨)$$

تباين الثقل النوعي معمليًا

من الأسباب المؤثرة على تباين قيم الثقل النوعي طريقة التقدير مثل استخدام سوائل إزاحة مختلفة في قدرتها على نفخ الخشب أو مدى ادمصاصها بالخشب كذلك فإن وجود المستخلصات الخشبية يعد مؤثرًا مهمًا على تقدير كثافة الخشب وإعطاء نتائج متفاوتة حسب كمية المستخلصات ونسبتها، ولهذا فقد يلجأ العديد من الباحثين إلى استخلاص الأخشاب، ثم إعطاء الثقل النوعي للخشب المستخلص، وعمومًا ففي كل الأحوال يجب توضيح ظروف قياس كثافة الخشب تلك المادة البيلولوجية المتباينة في صفاتها الفيزيقية. وقد أوضح عديد من العلماء مدى أهمية ملاحظة إجراء مقارنات الكثافة على أسس محددة وبيان ظروف القياس سواء أكانت في خشب سليم أو خشب

متحلل جزئيًا أو خشب معالج ، وتوضيح ما إذا كان التقدير لقيم الثقل النوعي تم على أسـاس خشب خال من المستخلصـات أو خشب بصـورته الطبيعية ، هذا مع بيان المحتوى الرطوبي الذي قيست عنده الكثافة أو قدر الوزن النوعي (Patterson, 1985) .

علاقة الأخشاب بالسوائل Wood Liquid Relations

المحتوى الرطوبي الكلي للأخشاب وتقديره

الواقع أن الأخشاب مادة هيجروسكوبية بطبيعتها تكونت في الأشجار داخل وسط مشبع بالماء إلا أنها لكي تستخدم يجب أن يزال منها هذه الكمية من الماء التي توجد فيها وهي خضراء داخل الأشجار. هذا وتؤثر رطوبة الأخشاب بدرجة كبيرة على كافة صفاتها الفيزيقية والميكانيكية . هذا والمحتوى الرطوبي للأخشاب عبارة عن نسبة الماء الموجود بالأخشاب إلى وزنها الجاف ، وهو بهذا يحسب بالمعادلة :

$$M.C.\% = \frac{W_{Gr} - W_{o\,d}}{W_{o\,d}}$$

معادلة (٦-١٣) . .

حيث W_{Gr} هي الوزن الأخضر

$W_{o\,d}$ الوزن الجاف

كما سبق أن قلنـا إن الأخشـاب تتكـون في الأشجـار داخـل وسط مشبـع بالمـاء (Zimmerman *et al.*, 1971) ، وعلى هذا فإن المحتوى الرطوبي للأخشاب الخضراء وإن كان يتباين بين الأجناس الشجرية المختلفة إلا أنه دائمًا أعلى في خشب العصارة عن خشب القلب في سيقان الأشجار فهو يتراوح بين ٣٠٪ إلى ١٢٠٪ في خشب القلب بالأشجـار الصنوبرية بمتوسط حوالي ٥٥٪ في حين أنه يتراوح بين ٩٨٪ إلى ٢٤٩٪ بمتوسط ١٥٠٪ في أخشاب العصارة للمخزونات نفسها ، بينما يكون في الصالدات متقـاربًا في خشب القلب وخشب العصارة (٨١٪ إلى ٨٣٪ على التوالي) ، وهذا في المتوسط . (Rowell, 1984) .

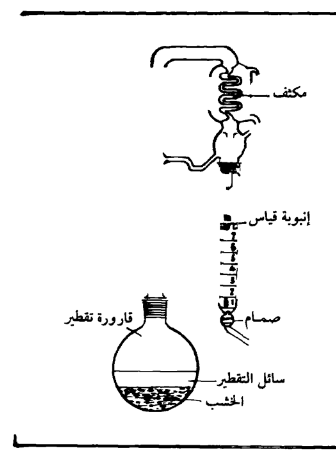
هذا وتختلف طرق تقدير المحتوى الرطوبي الكلي في الأخشاب بدرجة كبيرة وإن كان الهدف منها جميعًا هو الوصول إلى المحتوى الرطوبي الحقيقي للأخشاب. والطرق المتعارف عليها إلى الآن متعددة، وسنذكرها باختصار فيمايلي:

الطريقة التقليدية الوزنية بالتجفيف في الفرن

وفي هذه الطريقة يتم وزن قطعة الخشب الخضراء، ثم وزنها بعد التجفيف في الفرن على درجة حرارة ١٠٣مْ ± ٢ حتى يثبت الوزن، ثم تطرح قيمة الوزن الجاف من الوزن الأخضر وتنسب الكمية إلى الوزن الجاف للخشب كما في المعادلة السابقة (٦-١٣).

طريقــة التقطيــر

يلاحظ أنه عند وضع قطعة من الخشب للتجفيف في الفرن فإن احتواءها على بعض المواد الطيارة (مثل المستخلصات أو المواد الحافظة) يجعل من الصعب استخدام الطريقة الوزنية السابقة، ويفضل في هذه الحالة طريقة التقطير، حيث تؤخذ عينة يتراوح وزنها من ٢٠-٥٠جم من الخشب أو النشارة مثلاً، وتوضع في جهاز كما يظهر في الشكل ٤٧ حيث توضع النشارة في دورق ويضاف إليها سائل الاستخلاص حوالي ١٣٠-١٥٠مل، وهو عبارة عن مذيب قابل للامتزاج بالماء ويتم تسخين هذا المزيج بسخان كهربائي، ثم تتم عملية التقطير، ويستقبل الماء المستخلص في قابلة مدرجة، كما يظهر بالجهاز في الشكل رقم ٤٧، والمذيبات المستخدمة في هذه الحالة مثل البنزين، وكثافته أقل من الماء ٨٩ر٠، ونقطة غليانه ١ر٨٠°م، والكلوروفورم وكثافة أعلى من الماء ٥ر١، ونقطة غليانه ٣ر٦١ والتلوين وكثافته ٨٧ر٠، ونقطة غليانه ٨ر١١٠°م، والتراكلورو إيثان وكثافته ٦ر١، ودرجة غليانه ٣ر١٤٦°م، هذا وتستمر عملية التقطير إلى حين توقف تجمع نقطة الماء في القابلية، وهذا يأخذ فترة تتراوح من ٤-٢٤ ساعة (Kollmann and Côté, 1968)، وهذه الطريقة قد لا تكون دقيقة في تقديرها للمحتوى الرطوبي للخشب حيث تدمر الأنسجة الخشبية، وينصح المرجع نفسه باستخدام التلوين أو الزيلين كمذيب لاستخلاص الماء.



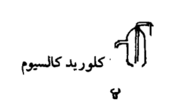
شكل ٤٧ . جهاز تقدير الرطوبة بالتقطير (عن Kollmann and Côté, 1968) .

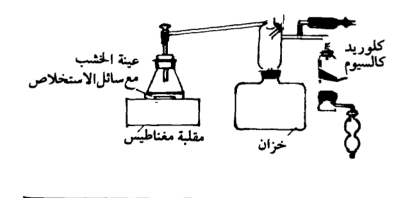
طريقة معايرة Karl Fischer

وقـد شرحهـا كارل فيشر عام ١٩٣٥م، وفصلهـا بطرق أكثـر Eberius عام ١٩٥٢م، ويوضح شكل رقم ٤٨ الجهاز المستخدم للمعايرة ويلاحظ في هذا الجهاز ضمان غلق الفتحات الزجاجية كافة، وهذا لاستبعاد أي رطوبة جوية يمكن أن تصل داخل الجهاز. ويلاحظ في الجهاز (شكل ٥٠) أن فتحات الجهاز كافة متصل بها أنابيب متعلقة تحتوي على كلوريد الكالسيوم غير المائي، لضمان وصول أي رطوبة جوية داخل الجهاز، والطريقة سهلة تتلخص في قياس الرطوبة في الأخشاب بالمعايرة باستخدام عامل مساعد كارل فيشر الذي يتكون من محلول من البيريدين وثاني أكسيد الكبريت واليود مع الميثانول، وهذا المحلول يتفاعل مع الماء في الخشب كما يلي:

$$3\,C_5H_5N + SO_2 + I_2 + H_2O \rightleftharpoons 2\,C_5H_5N\,HI + C_5H_5N\,SO_3$$

ونقـطة نهاية التفاعل بالمعايرة يمكن تحديدها لونيًا عن طريق اليود الموجود أو بطرق كهربية، حيث إن الماء الحار يرفع من درجة توصيل المحلول، وهذه الطريقة يمكن أن تستخدم لقياس المحتوى الرطوبي لمواد مختلفة بما فيها الأخشاب وتعطى نتائج مرضية وإن كانت غير عملية، خاصة بالنسبة للكميات الكبيرة من الأخشاب المحتوية على رطوبة عالية تحتاج إلى وقت أطول (حوالي ٦ ساعات).





شكل ٤٨ . جهاز تقدير الرطوبة بالمعايرة (عن Fischer, 1935).

الطــرق الرطوبيـــة

وفي هذه الحـالة يحدث ثقب في الخشب ويتم قياس المحتوى الرطوبي بجهاز قياس الرطوبة النسبية العادي، وهي طريقة سريعة وإن كانت لا تفضل الطرق التي تستخدم الأسس الكهربائية لقياس الرطوبة بالأخشاب (Kollmann and Côté, 1968)

الطرق الكهربائية لقياس الرطوبة في الأخشاب

وقد صممت على أساس هذه الطرق أجهزة قياس الرطوبة بالطرق الكهربية وقد بدأت في الولايات المتحدة منذ عام ١٩٣٠م، ثم تطورت فيما بعد، وهذه الطرق تعتمد على الخواص الكهربائية للأخشاب وبالذات درجة مقاومتها للتوصيل الكهربي وثوابت الازدواج الكهربي وخواصها الكهربية الأخرى (Brown *et al.*, 1952) .

أجهزة قياس الرطوبة بتقدير السعة والتردد الكهربي - Capacity and Radio Frequency Power - Loss Moisture Meters : إن صفات الازدواج الكهربي للأخشاب ذات علاقة وثيقة بمحتواها الرطوبي، وهذا هو الأساس الذي تعمل به هذه النوعية من أجهزة قياس الرطوبة بالأخشاب حيث يمرر تيار ذي تردد من خلال الكترود يلاصق سطح الأخشاب، ويمكن أن تدرج هذه الأجهزة فعليًا بمعايرتها بطرق تقدير الرطوبة التقليدية، وتعتمـد القراءة المتحصل عليها للرطوبة على كثافة الخشب نفسه، ولهذا تدرج هذه الأجهزة على أساس متوسط الكثافة للخشب موضع القياس مما يحدث عادة أخطاء معملية في القياس، نظرًا لتباين الكثافة داخل قطعة الخشب نفسها؛ ولذلك يعطى تصحيحًا يعتمد أساسًا على الجنس الشجري للأخشاب، وهذا راجع لاختلاف الكثافة وتباينها من جنس لآخر وداخل الشجرة نفسها من الجنس نفسه.

أجهزة قياس الرطوبة بتقدير المقاومة الكهربية Resistance - Type Moisture Meters : إن مدى الرطوبة الممكن وجودها في الأخشاب يتراوح ما بين الجفاف التام ونقطة تشبع الألياف (٢٨-٣٠٪ على الأكثر)، وهذا هو المدى الذي توجد فيه الرطوبة بالجـدار الخلوي (فـوق تشبع الألياف بالرطوبة في الفراغات الخلوية) في هذا المدى

الـرطـوبي (من الجفاف إلى نقطة تشبع الألياف) توجد علاقة خطية استقامية ما بين لوغـاريتم المقاومة لمرور التيار الكهربي وبين المحتوى الرطوبي، حيث تصبح المقاومة عالية جدًا مع انخفـاض المحتـوى الـرطـوبي للأخشاب؛ ولذلك فإن أجهزة قياس الرطوبة بتقدير المقاومة لمرور تيار كهربي تدرج لتعمل ما بين محتوى رطوبي يتراوح بين ٥٪، ٢٨٪ في المعتاد وإن كانت الأجهزة التي تدرج لتقرأ نسبة رطوبة أعلى من هذا يكـون فيهـا مقـدار الخـطأ واضحًا، وهناك عادة تصحيح للقياسات حسب الجنس الشجـري وحسب المحتـوى الرطوبي، وعادة ما يستخدم الجهاز الكترود أو أقطاب معدنية تدفع داخل الخشب في اتجاه الألياف ما بين القطبين ويقرأ التدرج على الجهاز.

وعمومًا فإن مدى دقة قياسات هذه الأجهزة ـ مثل النوع السابق ـ أيضًا يعتمد على الجنس الشجـري ومدى تباين الكثافة داخله ومحتواه من المستخلصات ونوعيتها والمحتوى المعدني بها.

المحتوى المائي للجدار الخلوي (نقطة تشبع الألياف ـ المحتوى الرطوبي المتزن)

عندما يوجد الماء في الجدار الخلوي فقط، وتكون الفراغات الخلوية خالية تمامًا منه فإن المحتوى الرطوبي عند هذه الحالة يعرف على أنه نقطة تشبع الألياف fiber saturation point، وبتعبير آخر فإن نقطة تشبع الألياف هي النقطة التي يكون عندها الماء موجـودًا في الجـدر الخلوية للألياف فقط، ولا يكون هناك أي ماء حر في الفراغات الخلوية، وتحسب هذه النقط عادة من منحنيات الرطوبة وعلاقتها بالانكماش، وهذا بالنـظر للعلاقات المتداخلة ما بين الضغط البخاري وحجم الفراغات الشعرية وقد أوضح Stamm, 1964 أن هناك تميزًا واضحًا على منحنيات علاقات المحتوى الرطوبي بالانكماش في الأخشاب يمكن من تقدير نقطة تشبع الألياف بدقة، وبالمثل يوجد هذا التميز الواضح لنقطة تشبع الألياف على منحنيات علاقة المحتوى الرطوبي بالخشب وحرارة الترطيب كذا في منحنيات علاقة الادمصاص بالمحتوى الرطوبي، وبين المحتوى الرطوبي والصلابة (stifness)، ونقطة تشبع الألياف تقع في مدى واضح للعديد من الأخشـاب (٢٤٪ ـ ٣٥٪) وإن كانت تختلف حسب الـتركيب التشريحي والـتركيب

الكيميائي للأخشاب (Kollmann and Côté, 1968) ، وقد أظهر المرجع نفسه أن نقط تشبع الألياف تكون عالية في الأخشاب المسامية المنتشرة غير مميزة خشب القلب، وفي خشب العصارة من الأخشاب المسامية الحلقية، وتتراوح في هذه الحالة ما بين (٣٢٪ ـ ٣٥٪)، يلي هذا في مقدار نقطة تشبع الألياف المخروطيات فاتحة اللون التي لا يتبخر فيها لون مركز لخشب القلب، ومعها أخشاب العصارة من بقية المخروطيات حيث تبلغ فيهـا نقـطة تشبع الألياف ٣٠٪ ـ ٣٤٪، أما بقية المخروطيات ذات خشب القلب الداكن) ذات المحتوى الراتنجي غير المرتفع فنقطة تشبع أليافها ٢٦٪ ـ ٢٨٪، وأما تلك المخروطيات مرتفعة المحتوى الراتنجي فنقطة تشبع أليافها ٢٢ ـ ٢٤٪، في حين أن صالدات الأخشاب المسامية الحلقية المنتشرة مميزة خشب القلب الداكن تكون نقطة تشبـع الألياف بها ٢٢٪ـ٢٤٪ . وهنـا نلاحظ من هذه الدراسة أنها يمكن تفسيرها كيميائيًا حسب التركيب الكيميائي للأخشاب وكثافتها ومدى وجود مركبات محبة للماء في المستخلصـات، ومـدى وجود فراغات من الناحية الفيزيقية داخل التراكيب فوق الـدقيقـة للجـدار الخلوي فتـهام شغـل هذه الفـراغـات التي تكـون فوق الـدقيقة بالمستخلصات (الملونة للخشب مثلاً) أو الراتنجات يخفض من المحتوى الرطوبي الذي يحدث عنده تشبع الألياف ويؤكد هذا التحليل ما أورده Kollmann and Côté, 1968 من أن الخشب الخفيف ذو الفراغات العديدة والمكون في بعض جذور الأشجار يؤكد أن نقطة تشبع الألياف فيه قد تصل إلى ٥٠٪، أما ما يطلق عليه المحتوى الرطوبي المتزن (E.M.C.) فإن المحتوى النوعي يصل إليه قطعة الخشب مع تركها في وسط ما حتى تصل إلى حالة اتزان رطوبي مع الوسط المحيط بها.

ظاهرة الادمصاص بالأخشـاب Adsorption Phenomenon in Wood

يجب هنا أن نفرق بين ظاهرة الامتصاص (absorption) وهي تعني أخذ سائل داخل فراغات جسم مسامي بصورة ميكانيكية عن طريق القوى الشعرية ـ وقوى سائل الجذب السطحي وتعنى الظاهرة التي تتناولها وهي ظاهرة الادمصاص عملية أخذ غاز أو سائـل (في حالة بخارية)، أو ذائب من محلول ليدخل إلى التكوين الداخلي لمادة مسامية، أو مسحوق ناعم، أو على مادة غروية منتفخة، وفي معظم الأحيان يكـون هـذا الاحتفـاظ أو الأخـذ للغـاز أو السـائـل (فـي حالـة بخـاريـة) على سطح

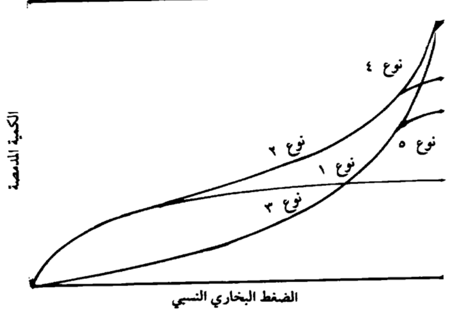
الإدمصاص (adsorbent) بسمك طبقة أحادية الجزيء (monomolecular) وعادة لا تزيد عن طبقة عديدة الجزيء (polymolecular) (نادرًا ما تكون فوق عشرة جزيئات). وعملية الأخذ (intimate take up) هذه تشير إلى أن قوة قوى الجذب بين السطح الذي يتم عليه الادمصاص (adsorbent) وبين المادة المدمصة (adsorbate) أقوى من القوى الداخلية الرابطة بين هذه المادة بعضها ببعض، وعادة ما يصاحب عملية الادمصاص انبعاث طاقة حرارية. ومع تفاعل سطح الادمصاص مع المادة المدمصة عليه ليتم تكوين روابط تعاونية فإن هذه الظاهرة يطلق عليها chemisorption . أما الترابط بين سطح الادمصاص والمادة المدمصة عليه بقوى ثانوية، مثل الروابط الهيدروجينية أو روابط فان ديرفال، فيطلق على الظاهرة في هذه الحالة الادمصاص الفيزيقي وعملية الادمصاص نفسها تنعكس مع فقد المادة من السطح الذي أدمصت عليه، وهذا ما يسمى desorption .

أما منحنيات خطوط الإدمصاص التجاري (adsorption isotherms) فهي منحنيات للعلاقة ما بين المادة المدمصة على الأسطح حجمًا أو وزنًا وبين الضغط الغازي أو البخاري، أو تركيز المحلول الذي يتم منه الادمصاص عند درجة حرارة ثابتة.

هذا ويمكن أن يحدث الادمصاص على أي نوعية من أسطح الجوامد سواء كانت ناعمة أم خشنة إلا أن طحن المادة الخشبية مثلاً يزيد من قدرتها الادمصاصية لزيادة سطحها النوعي بدرجة محدودة، وذلك لأنها مادة مسامية أساسًا، ولذلك فإن الادمصاص على الخشب لا يعتمد كلية على حجم الجزيئات بعكس الجوامد الأخرى من المواد غير المسامية، كذلك فإن مع ادمصاص الماء (مما يزيد انتفاخ الأخشاب) يدخل الماء إلى فراغات الجدر الخلوية ويضيف إلى حجم النسيج الخشبي عن طريق تكوين سائل جامد (solid solution) وبهذا تصبح مساحة سطح التلاقي ١٠٠٠ مرة قدر الفراغات الميكروسكوبية (microscopic) الممكن إدمصاص سائل غير نافخ عليها (Stamm, 1964).

أنــواع الادمصــــاص

يمكن أن نذكر خمسة أنواع من منحنيات الادمصاص التحارري، كما يظهر في الشكل رقم ٤٩ (Stamm, 1964) ونوع الادمصاص في المنحنى رقم ١ هو ادمصاص (langmuir)، ويعبر عن حالة ادمصاص وحيدة الجزيء، مثل أخذ الغازات على الأسطح، ومثل حالات الـ chemisorption، أما النوع الثاني ويأخذ شكل sigmoid فهو نوع عديد الجزيء polymolecular، وفيه يزيد معدل أخذ المادة على الأسطح مع زيادة الضغط البخاري النسبي، ومن أمثلته ادمصاص بخار الماء (أو الأبخرة العضوية) على مساحيق المعادن، ومثل ادمصاص بخار الماء على السليولوز أو الخشب مكونين بذلك سائلاً جامدًا، ومع حدوث نوع الادمصاص الثاني يحدث انبعاث للحرارة. أما النوع الثالث من الادمصاص فيختلف عن الثاني في أن الحرارة المنبعثة تكون قليلة، وفي هذه الحالات تكون قوى جذب المادة التي يتم ادمصاصها معًا تقارب تلك القوى التي تجذبها للأسطح لتدمص عليها، ومن أمثلتها ادمصاص اليود على غروي السليكا، وادمصاص بخار الماء على البولي إيثلين جليكول، هذا والنوع الرابع من الادمصاص في شكل ٤٩ هو حالة خاصة من النوع الثاني، كما في حالة المواد



شكل ٤٩ . أنواع الادمصاص الفيزيقي (عن Stamm, 1964)

المسامية المتصلبة مثل ادمصاص بخار الماء على غروي السليكا. أما النوع الخامس من الادمصاص فهو حالة خاصة للنوع الثالث في شكل ٤٩، وفيه يحد من كمية الادمصاص حجم فراغات المتصلبة الموجودة قبلاً في المادة مثل حالة ادمصاص بخار الماء على الفحم النباتي.

مبادىء الديناميكا الحرارية للادمصاص Sorption Thermodynamics Principles

إن ظاهرتي الادمصاص وفقد الادمصاص معًا تسميان sorption . هذا وعند حدوث ادمصاص للماء على الأسطح الخشبية تنبعث حرارة تسمى حرارة الترطيب (heat of wetting) وفي حالة قياس كمية الحرارة المنبعثة عن ترطيب جرام واحد من الخشب المطحون الجاف بالماء حتى يصل هذا الجرام إلى نقطة تشبع الألياف فإن هذه الحرارة تسمى حرارة الترطيب المتكاملة (H) ، وتتراواح ما بين ١٤ إلى ١٩ كالوري للجرام (Kollmann and Côté, 1968) ويشير المرجع نفسه إلى أن حالة ترطيب الخشب تدريجيًا أو جزئيًا ينتج عنها قيمة أو حرارة الترطيب التفاضلية (differential) (٢٦٠ كالوري/ جرام ماء أو ٩٥٠ BTU / رطل ماء). هذا وخلال المراحل الأولى للادمصاص فإن الطاقة الحرة F تنخفض عن حرارة الترطيب التفاضلية، ومع ثبات الحرارة والضغط فإن:

$$\Delta F = \Delta H - T \Delta S$$

حيث تشير ΔS إلى مقدار التغير في الانتروبيا (عدم الانتظام) بينما ΔF هي التغير في الطاقة الحرة F ومن الواضح أن التغير في حرارة الترطيب مقداره أكبر من مقدار التغير في الطاقة الحرة. هذا وعند بدء انتفاخ الخشب فإن جزيئات الماء تكون مرتبة بدرجة عالية (انتروبيا قليلة) نتيجة لترتيب جزيئات الماء مع مجاميع الهيدروكسيل بالسليولوز في الخشب، وهكذا تكون جزيئات الماء مضغوطة مرتبة في المناطق السليولوزية (Kollmann and Côté, 1968) . هذا وتبلغ حرارة الترطيب المتكاملة حتى ٠٫٨ ضغط بخاري نسبي مقادير كبيرة في خشب الكافور من نوع *E.regnans* ، ويعطي الجدول رقم ١٥ مقدار هذه الحرارة.

جدول ١٥ . حرارة الادمصاص لمكونات الخشب .

المكـون	الماء المدمص	كالوري/ جم ΔH	$-\Delta H/M$
الخشب ككل	١٤٩ر٠	١٥٫٦	١٠٥
الهـولوسليولوز	١٦٣ر٠	١٧٫٥	١٠٥
السليولوز	١٣٧ر٠	١٤٫٥	١٠٦
البوليوزس	٢٧٠ر٠	٢٠٫٨	١١٠
اللجنيـــن	١٢٤ر٠	١٢٫٩	١٠٤

المصدر: (عن: Browning, 1963) .

ويتضح من الجدول رقم ١٥ أن القيمة Δ H/M ـ كانت تقريبًا متساوية بالنسبة لمركبـات الخشب المختلفة مما يؤيد الفكرة القائلة: إن هذه المركبات ممسوكة بالقوى نفسها في المكونات الخشبية، وعلى هذا فإن الفرق في حرارة الترطيب المتكاملة يرجع إلى كمية مواقع الادمصاص في كل مكون. هذا وكمية قوى الضغط التي تؤدي لترتيب الماء المـدمص وضغطه مكنت كلاً من Stamm and Hansen من حسابها في عام ١٩٣٧م بالمعادلة كما ذكرها Stamm, (1964):

معادلة (٦-١٤) . .
$$p = \frac{RT}{M} \mathrm{Ln}\, \mu$$

حيث إن P هي ضغط الانتفاخ في الخشب لادمصاص الماء

R ثابت الغازات

T الحرارة المطلقة

M الوزن الجزيئي للماء (=١٨)

μ هي الضغط البخاري النسبي

وأمكن حسابها بأنها تساوي

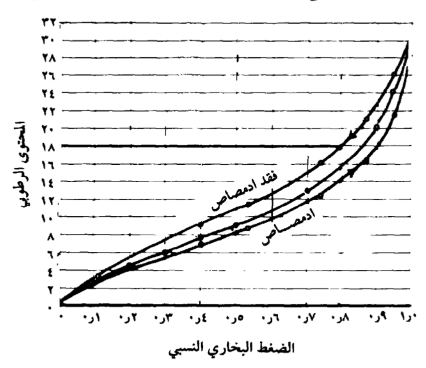
$$P = 2311 \,\mathrm{Log}\,.\, \mu \,(K_g / cm^2)$$

وقد ذكر المعادلة أيضًا Kollmann and Côté (1968) بصورة محورة.

ومن الملاحظ أن P هذه تعكس بوضوح مدى قوة الشد الواقعة على الجدر الخلوية في الفراغات الشعرية خلال الانتفاخ أو الانكماش في الأخشاب.

تخلف الادمصاص Sorption Hysteresis

أثبتت عديد من الأبحاث أن كمية الماء الممكن ادمصاصها بالخشب أو السليولوز لا تعتمد فقط على الضغط البخاري النسبي، ولكنها أيضًا تعتمد على ما إذا كانت المادة السليولوزية رطبة وفي طريق الجفاف، أو جافة وفي طريق الترطيب. ومن الشكل رقم ٥٠ يظن أنه عند الضغط البخاري نفسه في أنشوطة الادمصاص نجد أن خط فقد الادمصاص أي نقطة عليه لها محتوى رطوبي أعلى من تلك في منحنى الادمصاص، وهذه الظاهرة تسمى تخلف الادمصاص، فإذا بديء بقطعة من الأخشاب الخضراء وجففت (تكون نقاطها على منحنى فقد الادمصاص)، وبعد جفافها تمامًا يعاد ترطيبها (تتبع منحنى الادمصاص) فإننا نلاحظ أنه عند أي ضغط



شكل ٥٠. تخلف الادمصاص في الأخشاب

بخاري نسبي لا تحتوي القطعة نفسها من الخشب على المحتوى الرطوبي نفسه، فمن الشكل نلاحظ أنه عند ضغط بخاري ٨ر٠فإن منحنى الادمصاص يمثل محتوى رطوبيًّا ١٤٪، في حين أنـه في دورة التجفيف أي منحنى فقـد الادمصـاص عنـد الضغط البخـاري نفسـه كانت النقـطة تمثـل محتـوى رطـوبيًا ١٨٪، وهذا راجع إلى تخلف الادمصـاص تلك الـظاهـرة التي يفسرها بسهولة وجود مناطق عديدة داخل تركيب الميكـروفـبرلات السليولـوزية منتفخـة في الحـالة الخضراء للخشب عن طريق وجود جزيئـات ماء مرتبـطة بروابط هيدروجينية مع مجاميع الهيدروكسيل على سلاسـل السليوليوز، وعند تجفيفها بفقد جزيئات الماء (تتبع منحنى فقد الادمصاص) تتلاصق سلاسل السليولوز وتتلامس، وهذا يؤدي إلى تكوين لروابط بين السلاسل السليولوزية في الأماكن التي كانت تحتلها جزيئات الماء بين السلاسل تتحول لروابط شبه دائمة بمواقع مجاميع الهيدروكسيل بين سلاسل السليولوز المتجاورة التي تشبع بعضها في هذه الحالة مع إعادة الترطيب فإن بعضًا من هذه الروابط التي تكونت مع تلامس السلاسل السليولوزية يصعب تكسيرها بإحداث الترطيب، ولهذا لا يتم أخذ جزيئات الماء في المواقع كافة الممكنة بالسلاسل السليولوزية، وهكذا تصبح مواقع ادمصاص جزيئات المـاء أقـل عما كانت عليه في الحالة الخضراء وتصبح كمية الماء المأخوذ عند الضغط البخـاري نفسه أقل من الحالة الخضراء لمجرد أن هناك مواقع على السلاسل قد تم شغلهـا تمامًـا بروابط جانبية لم يمكن تكسيرها عند إعادة الترطيب، وهكذا يتخلف منحنى الادمصـاص عنـد منحنى فقـد الادمصـاص في كمية الرطوبة عند الضغط البخاري نفسه وبهذا تظهر أنشوطة الادمصاص التخلفية.

ظاهرة الانتشار في الأخشاب Diffusion Phenomenon in Wood

الانتشار ظاهرة تتضمن الحركة التلقائية لمادة داخل مادة أخرى من منطقة تركيز مرتفع إلى منطقة تركيز منخفض في محاولة لمعادلة التركيز مما يزيد من عدم الانتظام أو الانتروبيا، وفي حالة الأخشاب (أو أي مادة مسامية قابلة للانتفاخ) فإن هذا يتضمن حركـة غاز أو بخار خلال الفراغات البنائية، أو حركة الماء المرتبط بالأسطح، وهذا

يختلف عن مجرد حركة سائل في جسم مسامي كحركة شعرية تحكمها القوانين الشعرية.

ويمكن شرح ظاهرة الانتشار من خلال قانون Fick الأول للانتشار الذي ينص على أن:

$$dm/dt = -D(de/dx)\ dy\ dz$$

وهذا يعني أن معدل انتقال الكتلة في وحدة الزمن يتناسب مع معدل التغير في التركيز في اتجاه محدد في وحدة المساحة، وD هي ثابت التناسب أو معامل الانتشار، وعند وجود تركيزين ثابتين حول حاجز مسامي يتولد تدرج عبر سمك هذا الحاجز الفاصل بين الوسطين، وفي حالة الأخشاب تمر الرطوبة عبرها من وسط عالي الرطوبة إلى وسط جاف داخلها، وهكذا تصبح قطعة الخشب مثل حاجز تخيلي يمر عبر جزيئات الماء مكونة تدرجًا رطوبيًا مما يزيد من معامل الانتشار كلما زاد التركيز (فرق التركيز) وعند حدوث الانتشار في وسط ما تكون الحالة غير ثابتة، وتصبح أكثر تعقيدًا وسيشرحها قانون Fick الثاني الذي ينص على أن:

$$dc/dt = D\ (d^2c/dx^2)$$

الذي يمكن أن يترجم على أساس أن معدل التغير في التركيز عند أي نقطة في وسط الانتشار في اتجاه محدد يتناسب مع معدل تغير التركيز في المسافة المحددة (Stamm, 1964).

هذا ومعدل انتشار الماء المرتبط بالأسطح في الخشب يتحكم فيه الضغط البخاري للماء سواء كان هذا في الطور الغازي أم السائل، وعلى هذا فإن انتشار الماء المرتبط بالأسطح هو ظاهرة جزئية، وليست ظاهرة حركة كتلة سائل، ويظهر في ذلك أن حركة جزيئات الماء ستكون في هذه الحالة مجرد قفزات جزيئية عشوائية (random molecular walk or jump) حسب ما أورده أيضًا Stamm في سنة ١٩٦٤م حيث يقول بأن جزيئات الماء ستقفز من نقطة رطبة إلى نقطة أقل رطوبة، أو من موقع ادمصاص إلى موقع ادمصاص آخر داخل تركيب الخشب، وهذا يحدث عندما تصبح قوى جذبها للنقطة الجديدة بالإضافة إلى الشغل اللازم لفتح موقع ادمصاص جديد

أكبر من قوى جذبها في موقعها السابق، وهذه الحركة الجزئية تبدأ في التأثير بعد وجود تدرج رطوبي في قطعة الخشب. وعمومًا فإن انتشار الماء في الخشب يشمل حركة بخار الماء وحركة الماء المرتبط بالأسطح (المدمص).

صور الماء في المادة الخشبية

الماء الموجود في الأخشاب يوجد على عدة صور، فالواقع أن الأخشاب تتكون في الأشجار داخل وسط مائي بل إن تركيب النسيج الخشبي يوجد معه جزيئات من الماء مرتبطة بالمكونات الكيميائية للخشب (السليولوز والبوليوزس) بروابط هيدروجينية. هذا وصور الماء في الأخشاب يمكن أن تتلخص فيمايلي:

١ ـ الماء التكويني Water of Constitution

وهذا هو الماء الذي يدخل في تكوين الأخشاب، وهو ليس ماء في صورته الفعلية إلا عند رفع حرارة الأخشاب مما ينشأ عنه انفصال مجاميع الهيدروكسيل التي على السليولوز، ثم إعادة تجميع بعضها ليعطي جزيئات ماء.

٢ ـ الماء المرتبط بالأسطح Surface Bound

وهذا الماء إما أن يكون مرتبطًا بالأسطح الخشبية في شكل طبقة وحيدة الجزيء وإما أن يكون مرتبطًا (مدمص) في شكل طبقة عديدة الجزيئات، وهذا الماء مرتبط بالأسطح بقوى اليكترستاتيكية (روابط هيدروجينية وفان ديرفال).

٣ ـ الماء المتكثف شعريًا Capillary Condensed

وهذا الماء هو المتكثف في الفراغات الشعرية الدقيقة التي تبلغ ٢٪ من حجم الجدار الخلوي، ويتحرك بالخاصة الشعرية حسب القانون $p = \frac{2\sigma}{r}$ حيث p قوة لجذب الشعري و σ معامل الجذب السطحي للسائل و r هي نصف القطر الشعري. والحركة الشعرية للماء المتكثف شعريًا تحدث في الفراغات المتناهية الصغر (حتى حجم الجزيئات) أو الميكروسكوبية بالجدر الخلوية ما بين ضغط بخاري نسبي ٩٠ر٠ وضغط

بخاري نسبي ٩٠ر٠ وضغط بخاري ٩٩٥ر٠ ويحدث هذا في الفراغات الميكروسكوبية بعد تشبع الجدر الخلوية ويمكن أن يصل إلى ١٥٠٪ من الوزن الجاف حسب ما أورده Stamm (1964) من أن الأخشاب اللينة ذات الكثافة ٤ر٠ (وزن وحجم جاف) ومتوسط قطر فراغات خلوية قدره ١٥ ميكرون يمكنها أن تحوي ١٥٠٪ من وزنها فوق نقطة تشبع الألياف. وعلى هذا فإن الجدر تدمص ٣٠٪ من وزنها ما بين صفر ضغط بخاري إلى ٩٩٥ر٠ بينما الفراغات الشعرية ستحوي ١٥٠٪ عند ضغط بخاري ٩٩٥ر٠ حتى ٩٩٩٩ر٠ (Stamm, 1964).

وعمـومًا فإننا عندما ننظر إلى الأخشاب بالتحليل السابق فإننا فعلاً ننظر إلى مكوناتها من السليولوزس (عديدات التسكر) بصورة كبيرة والواقع أن خواص علاقات الأخشـاب بالادمصـاص مثلاً يتفاوت مقدار تأثير كل مركب عليها فالسليولوز يؤثر بمقـدار ٤٧٪ في صفات ادمصاص المادة الخشبية في حين أن عديدات التسكر يؤثر بمقدار ٣٧٪ واللجنين بمقدار ١٦٪ (بدران وعزت قنديل، ١٩٧٩م).

حركـة المـاء في الأخشـاب

في الواقع أن حركة الماء في الأخشاب يمكن أن ينظر إليها من منظور مكون من شقين، أولهما ما فوق نقطة تشبع الألياف حيث الجدر الخلوية كلها مشبعة بالماء، وحيث المـاء الحـر في الفـراغات وحركة الماء الحر في الفراغات الشعرية تحكم فوق الجذب الشعري، ونلاحظ هنا أن هذا لا يعني أن جميع فراغات الخشب الدقيقة تحوي ماءً، بل إن الخشب الأخضر في السيقان الشجرية به مناطق تضم كمية من الهواء، وهذا ما أوضحه Stamm (1964). أما الشق الثاني لحركة الماء في الأخشاب فهو حركتها تحت نقطة تشبع الألياف، وهذا عبارة عن حركة ماء مرتبطة بالأسطح الخشبية داخل الجدر الخلوية عبر تدرج رطـوبي واضح، وتحكم حركة الماء في هذه المرحلة قوانين الانتشار المختلفة. هذا والماء في صورته البخارية يمكنه الحركة سواء تحت نقطة تشبع الألياف أو فوقها. ونلاحظ أن عديدًا من البحوث تذكر أن حركة الماء فوق نقطة تشبع الألياف، لهذا فإن حركة الماء في مداها الواسع (تحت أو فوق نقطة تشبع الألياف) يمكن النظر

إليها من منظور الانتشار كظاهرة (Stamm, 1964, Kollmann and Côté, 1968) . وقد أوضح العالم (1963) Choong طبيعة حركة الماء في المدى الهجروسكوبي، وأظهر أن دور المـاء المـرتبط بالجدر وحركة البخار المائي يتباين مع المحتوى الرطوبي ودرجة الحرارة والـتركيب البنائي. وقد لاحظ زيادة كمية الماء المرتبط بالأسطح في الحركة مع زيادة الرطوبة والحرارة، كما كانت حركة هذا الجزء المرتبط بالأسطح أعلى ما يمكن في الاتجاه القـطري، وأقـل في الاتجـاه الـطولي الموازي للألياف. ومن الواضح أن حركة الماء بالخاصة الشعرية تعتمد على حجم الفراغات الشعرية فكلما قل قطر الفراغات الشعرية كلما زادت قوة جذب المـاء وارتفاعه فيها (الخاصة الشعرية). هذا والحاسب الدقيق لحركة الماء الشعرية من الصعب قياسها؛ نظرًا لتفاوت حجم الفراغات بالجدر الخلوية ودور الأغشية النقرية (Collmann and Côté, 1968) . هذا وقد أرجع (1964) Stamm ظاهرة التداعي (collapse) في الأخشاب (والتي تحدث عند تجفيف أخشاب خضراء بصورة مفاجئة وغير سليمة إلى فعل القوى الشعرية، حيث ذكر أن تقدم التجفيف، وظهور فقاعات ذات أقطار دقيقة في الفراغات الشعرية، مع تناهي صغر قطر هذه الفـراغـات الشعـرية فإن القـوى الشعـرية المتولدة (نتيجة لفقد الماء وقوى الجذب السطحي للماء على الجدر) تتعاظم فتصبح مع الفراغات الشعرية كبيرة حتى تفوق هذه القـوى مدى قوة تحمل الجدر الخلوية التي تتداعى وتنهار تحت فعل القوى الشعرية المتعاظمة داخل الفراغات الشعرية بالجدار. والواقع أن تفسير ذلك سهل إذ أنه مع تقدم فقد الماء، وتكوين أغشية شعرية بالنقر والفراغات الميكروسكوبية يتكون نقص في الضغط البخاري مما ينشأ عنه تعاظم الشد الهيدروستاتيكي على الجدر متجاوزًا بهذا حد التنـاسب لقوة الانضغاط العمودية على الألياف بالجدر (تبلغ ٣٤كم/ سم ٢)، وهذا يقابل ضغطًا بخاريًا نسبيًا قدره ٠٫٢٥، على أن يكون قطر الأنبوبة الشعرية = ٢٫٤×١٠⁻⁶سم) وهذا يمكن وجوده في عديد من فتحات النقر بالمخروطيات (Kollmann and Côté, 1968, Stamm, 1964) .

هذا وإذا نظرنا إلى قوانين الانتشار فقط لتفسير حركة وفقد الماء خلال التجفيف فإننا نكون قد أهملنا التشكل والتشوه اللذان يحدثان في سلاسل السليولوز والمصاحبان

لعملية فقد الماء، وقد أظهر ذلك Hart (1964) ، وأظهر أن التشكل الحادث مع الزمن في سلاسل السليولوز قد يؤثر على تفهم الظاهرة في وجود قانوني Fick للانتشار فقط، والنظر إلى عملية فقد الماء بالتجفيف كظاهرة انتشار قد شرحه عديد من العلماء، وقد تناول الباحثون ظاهرة حركة الماء وفقده كنموذج مماثل للتوصيل الحراري في المواد، واستعمل لهذا مفهوم Fourier باستخدام حركة أحادية الاتجاه لعملية تجفيف الخشب . (Kollmann and Côté, 1968)

ومن هذا المفهوم يمكن تقدير زمن التجفيف اللازم وحسابه في ضوء الرطوبة والكثافة والتركيب التشريحي . هذا وقد تناول Stamm, (1964) عملية التجفيف كظاهرة انتشار وحسب منها ثوابت انتشار نظريًا وهذه الثوابت هي المؤثرة على معدل عملية فقد الماء أو التجفيف بالأخشاب، وقد شرح Stamm هذا الموضوع على أن حركة انتشار الكتروليت في تركيب معقد من الفراغات الشعرية بالخشب ما هي إلا مماثلة للتوصيل الكهربي في هذا التركيب المعقد نفسه. وعلى هذا فإن الانتشار في الفراغات الخلوية يكون تجميعيًا على التوازي في الاتجاه الطولي ومقلوب ثابت الانتشار بالمثل، ومن هذا توصل إلى المعادلة التالية للانتشار المماسي للماء في الخشب.

$$D_t = (V/V_o) \times \left[\frac{1}{\dfrac{1}{D_{v_1}} + \dfrac{n_t}{\dfrac{1}{\left(\dfrac{L_p}{q_t D_{v_2} + (q_p - q_t) D_b}\right) + \left(\dfrac{L - L_p}{\gamma_p D_{v1}}\right)} + (A^{1/2} - q_t - q_p) D_b}} + (1 - A)^{1/2} D_b \right]$$

وهذه المعادلة مأخوذة عن Stamm (1964). وفيها أن V/V_o هي متوسط الحجم النوعي للخشب بين الحالة المنتفخة والحالة الجافة مقسومة على الحجم النوعي للخشب مع الماء، وهذا المقدار يحول القيمة بالمعادلة من حجم المادة الخشبية إلى حجم الخشب.

وفي المعادلة m_r = متوسط عدد الفراغات الخلوية بالألياف/ سم في اتجاه القطاع العرضي للألياف.

A = متوسط الفراغات في القطاع العرضي ما بين الحالة الجافة والخضراء، ويحسب من الثقل النوعي في الحالة الخضراء والجافة.

L = هو متوسط سمك الجدار الخلوي المزدوج.

L_p = سمك جدار غشاء النقرة.

D_{vl} = معامل الانتشار الحر لبخار الماء.

D_b = معامل الانتشار للماء المرتبط بالأسطح.

q = الجزء من الجدار الخلوي المغطى بالفتحات النقرية.

من المهم مراعاة كيفية حساب ثوابت المعادلة ومتغيراتها قبل استخدامها للتطبيق، علمًا بأن ثابت انتشار بخار الماء الحر يحسب بالمعادلة

$$D_v = 0.220\ (T/273)\ 1.75\ (760/P)$$

التي أعطاها Stamm (1964) في صفحة ٤٣٧ من مرجعه.

انتفاخ الأخشاب وانكماشها

Swelling and Shrinkage of Wood

أساسيات انتفاخ الأخشاب وانكماشها

تتكشف جميع الغرويات الهيجروسكوبية كافة مثل الخشب في وسط مائي، ويترتب على هذا فقدها لبعض محتواها الرطوبي مع أي تجفيف، وهذا عادة يصاحبه تغير في أبعادها الأصلية. والواقع أن اكتساب الماء بالادمصاص يواكبه زيادة في حجم الغروي (انتفاخ) كما أن فقد الماء يرافقه نقص (انكماش) في أبعاد حجم الغروي

(الخشب) بما يوازي حجم الماء المدمص، وهذا الانتفاخ أو الانكماش يمكن تقديره بغرض ثبات حجم الفراغات الميكروسكوبية بالخشب خلال اكتساب الماء أو فقده. وحسب تعريف (1964) Stamm فيمكن تعريف الانتفاخ أو الانكماش على أنه الزيادة أو النقصان في أبعاد المادة الغروية نتيجة لادمصاص أو فقد المادة المدمصة على الأسطح والمرتبطة بهذه الأسطح في شكل محلول جامد داخل الغروي.

وحتى يتم التغير في أبعاد الخشب أي سطح الادمصاص فيجب أن يكون هذا السطح المدمص (adsorbent) على درجة من اللدونة. وحتى يمكن أن يحدث الانكماش أو الانتفاخ فهناك شروط يجب توافرها من حيث إن سطح الادمصاص يجب أن يكون من الجوامد اللدنة، كما يجب أن يتوافر للمادة المدمصة قابلية شديدة لسطح الادمصاص تؤدي لتكوينها محاليل جامدة يصحب تكوينها انبعاث حرارة، وهذا هو الحادث في حالة الخشب والماء معًا (1964) Stamm . والواقع أن الماء يتم ادمصاصه في الأخشاب أساسًا بالمناطق السليولوزية وعديدات التسكر في السليولوز يتم ذلك في المناطق الأمورفية من الميكروفبرلات حيث تؤخذ جزيئات الماء لترتبط بروابط هيدروجينية على أسطح السلاسل السليولوزية وبينها. وعلى أسطح المناطق البلورية وبينها. ولهذا يحدث الانتفاخ أو الانكماش في اتجاهات عمودية على محور الميكروفبرلات (وهو محور المناطق البلورية نفسه في السليولوز). هذا وتختلف درجة الانكماش أو الانتفاخ حسب الجنس الشجري، وحسب السائل المدمص كما يظهر في الجدول رقم ١٦.

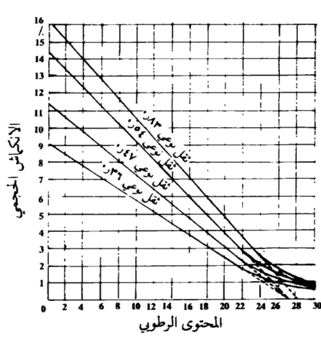
العوامل المؤثرة على الانكماش والانتفاخ

هناك العديد من العوامل الداخلة في عملية تغير أبعاد الخشب مع تغير محتواه الرطوبي، ومن أهم هذه العوامل الكثافة ودرجة حرارة الوسط المحيط وكثافة الأخشاب (أو ثقلها النوعي). هذا ويلاحظ أن الكثافة لها تأثير كبير على انكماش الأخشاب وانتفاخها والشكل رقم ٥١ يوضح تأثير الكثافة على الانكماش الكلي للأخشاب، وواضح من الشكل أن الانكماشات في الأخشاب تزيد مع خفض المحتوى المائي بها،

جدول ١٦ . النسبة المئوية للانتفاخ الكلي في الأخشاب

المذيـب	الجنس الشجـري		
	الحـور	الـزان	الصنوبـر
المـاء	١٥٫٣	٢١٫١	—
كحول ميثيـل	١١٫٣	١٤٫٠	١٤٫٥
كحول إيثيـل	١٢٫٣	١٦٫٠	١٤٫٢
كحول بروبيـل	١٠٫٠	١٣٫٤	٦٫٩
كحول بيوتيـل	٧٫٣	٠٨٫٤	—
حمض فورميك	١٧٫٨	٢٩٫٦	٢٠٫٤
حمض خليـك	١٤٫٠	٢٣٫٠	١٩٫٤
حمض بروبيونك	١٢٫٠	١٧٫١	—
حمض بيوتريك	—	٢٢٫٤	١٢٫٢
بيريديـن	١٩٫٦	٢٥٫٢	١٦٫٨

المصدر: الجدول معدل (عن Browning, 1963)



شكل ٥١ . علاقة الكثافة بالانكماش الكلي في الأخشاب . (عن Brown *et al.*, 1952)

ويلاحظ أن هذه الانكماشات تقل أو تختفي فوق نقطة تشبع الألياف بصورة عامة؛ ولهذا يلاحظ في المنحنى أن مد الخط المستقيم ليتقاطع مع المحور السيني يعطي نقطة تشبع الألياف تقديريًا إلا أن هناك أخشابًا مثل الكافور ينكمش عند محتوى رطوبي فوق نقطة تشبع الألياف، خاصة إذا جففت أخشابه على حرارة مرتفعة، وهذا يظهر أيضًا في السنديان الأحمر إذا استخدمت أيضًا ضغوطًا نسبية عالية في بداية التجفيف، ويفسر هذا الانكماش فوق نقطة تشبع الألياف في ضوء حدوث انهيارات خلوية وتداعٍ بالجدر الخلوية (Stamm, 1964) .

هذا ويلاحظ أن متوسط نسبة الانكماشات الكلية للثقل النوعي يوازي ٢٦ في المخروطيات و٢٧ في الصالدات، وهذا تقريبًا يساوي متوسط نقطة تشبع الألياف إذا عبر عنها كنسبة مئوية لحجم الماء (سم ٣) بالجدار لكل جرام من الوزن الجاف للخشب، وإن كان أقل من نقطة تشبع الألياف بصورتها المعروفة (وزن الماء لوزن الخشب) وهو ما يوازي ٣٠٪ عادة (Stamm, 1964) . والمعادلة التالية توضح العلاقة بين الانكماش الحجمي ونقطة تشبع الألياف والكثافة.

المعادلة (٦-١٥) . . $V_s = fG$

حيث V_s = الانكماش الحجمي الكلي

f = نقطة تشبع الألياف

G = الثقل النوعي

وهذه العلاقة تنطبق على حالة الانكماش أو الانتفاخ في الأخشاب، ويتضح منها أن الانكماش يزيد في الثقل النوعي، وهذا يحدث ما دامت الانكماشات لا تحدث داخل الخشب، أي أن الفراغات داخل الخشب تظل محتفظة بأبعادها، وقد ذكرنا هذا آنفًا على أساس أنه شرط نظري حقيقي لحدوث الانكماشات الكلية بصورتها المعروفة، وقد أثبتت عديد من الدراسات الميكروسكوبية أن التغير في حجم الفراغات الخلوية ضئيل

جدًا مع الانكـماشـات، ويفسر هذا عمليًا على أسـاس أن الـوضـع الحلزوني للميكروفبرلات في طبقات الجدار الخلوي المتتالية يعادل بعضه في الانكماشات، ويمنع الانكماشات في داخل الجدار S_3 التي تجعل الفراغ الخلوي ذا أبعاد ثابتة، وإذا نظرنا لمادة الجدار الخلوي في ضوء دراسات Stamm (1964) التي ظهر أن كثافتها حوالي ١٫٤٦ كما ذكرنا من قبل في هذا الفصل، وهذا الثقل الذي يوازيه حجم نوعي ٠٫٦٨٦ وبهذا يكون حجم المادة الخشبية تامة الانتفاخ لكل جرام من الخشب= ٠٫٦٨٦ + ٠٫٢٧ = ٠٫٩٥٦ ومقلوب هذا الرقم يساوي الثقل النوعي لمادة الخشب المنتفخ= ١٫٠٥ . ويضرب هذا في نقطة تشبع الألياف على أساس حجم الماء بالوحدة الوزنية من الخشب يعطي الانكماش الحجمي للخشب حتى الحالة الجافة (١٫٠٥×٢٧٪)= ٢٨٫٥٪ . أما إذا حسب الانتفاخ الحجمي لمادة الجدار في الخشب من الحالة الجافة للحالة تامة الانتفاخ= ١٫٤٦×٢٧٪= ٣٩٫٤٪ وإذا حسبت كثافة مادة الجدار الخلوي على أساس سائل إزاحة مثل البنزين فتكون ١٫٤٤ وبالتالي يصبح الرقم السابق ٣٩٪ فقط. إلا أن الدراسات المعملية العديدة تظهر أن هذه القسمة تتراوح بين ٤٥٫١٪ و٤٤٪ (Stamm, 1964) .

وعلى هذا يظهر أن انتفاخ أو انكماش مادة الجدار الخلوي الخشبية بالماء يحدث فيها أن يضيف الماء حجمه لحجم الجدر الخلوية مع إهمال أي تغير في حجم أي فراغات داخل الجدر الخلوية، وعلى هذا من الناحية العملية يهمل الحجم الفراغي بالجدار الخلوي والخشبي، وهذا يؤيد الفرض النظري عند حساب الانكماش أو الانتفاخ الذي سبق ذكره أنفًا. أما تأثير الحرارة على الانكماشات في الخشب فقد أظهر Stevens (1963) أن الانكماش يزيد مع رفع حرارة الخشب ويتناقص مع زيادة معدل سرعة التجفيف، ويلاحظ أيضًا أن الانكماش الحجمي للخشب تأثر بالحرارة أو معدل التجفيف تحت محتوى رطوبي ٢٥٪.

تباين الانكماشات والانتفاخات في الأخشاب

إن السلوك الانيزوتروبي للأخشاب يظهر جليًا في تباين الانكماشات في الاتجاهات المماسية القطرية والطولية والواقع أن هذا السلوك الانيزوتروبي (المتباين في

الاتجاهات الثلاثة) للخشب حيث يبلغ الانكماش في الاتجاه المماسي ٢٫٥ مرة قدرة في الاتجاه القطري. وهذا له عدة تفسيرات نذكرها باختصار فيمايلي:

١ - يزيد الانكماش المماسي عن القطري في الأخشاب بسبب أن خلايا الأشعة الخشبية تمتد طوليًا عبر القطاع القطري مثبتة بهذا القطاع القطري فلا تتغير أبعادها مع تغير درجات الرطوبة قدر ما تتغير الخلايا في الاتجاه المماسي، وإن كان لهذا تأثير صغير في التباين بين الانكماشات المماسية والانكماشات في الاتجاه القطري.

٢ - وضع خشب الصيف (الذي ينكمش أكثر لكبر ثقله النوعي) وخشب الربيع على التوازي في القطاع المماسي؛ ولهذا فإن خشب الصيف ينكمش أكثر جاذبًا معه خشب الربيع؛ ولهذا زيد الانكماش مماسيًا، أما في القطاع القطري فإن خشب الربيع يكون على التوالي مع خشب الصيف؛ ولهذا فإن انكماش كل منهما لا يضاف للآخر.

٣ - إن توزيع الميكروفبرلات يكون بصورة دائرية حول النقر المضفوفة التي تكثر في القطاع القطري، وهذا التوزيع يجعل حركة التغير في الأبعاد معدمة لحركة الخلايا؛ ولهذا لا تنكمش مماسيًا أكثر وإن كان ذلك حسابيًا يمكن تقديره بفرض أن زاوية الميكروفبرلات حول النقر على القطاع القطري ٤٥°٪ وحتى إذا كانت الزاوية نفسها على الجدر المماسية صفرًا (أي موازية لمحور الخلية) فإن نسبة التغير في البعد على الجدار المماسي إلى القطري تكون كما أوردها Stamm (1964) جتا صفر / جتا ٤٥°= ١٫٤٢، أي لا تصل إلى شرح الفرق بين المماسي إلى القطري كله (الذي يصل إلى ٢٫٥ مرة).

٤ - جزء كبير من البعد المماسي في الخشب مكون من صفائح وسطى مركبة أكثر مما هو حادث في حالة البعد القطري (الاتجاه القطري) وعلى هذا فإن الانكماش في الاتجاه المماسي يشمل جدرًا قطرية أكثر سمكًا في جملتها، وبالتالي تنكمش أكثر من غيرها. وعلى هذا فإن الكمية الكلية للمادة الخشبية في الاتجاه المماسي تكون أكبر من الاتجاه القطري، وحتى يمكن أن يكون هذا هو العامل الرئيس المؤثر في التباين بين

الانكماش القطري والمماسي يجب أن يكون السمك في الاتجاه المماسي ٥٠٪ أكثر منه في القطري على الأقل، وإن كان هذا لا تؤكده الدراسات الميكروسكوبية للخلايا.

وباستعراضنا للأسباب المختلفة والتفسيرات المقدمة لشرح التباين في الانكماش القطري والمماسي يمكننا أن نقول إن نسبة الانكماش المماسي إلى القطري التي تصل إلى ٢ر٥ مرة يمكن شرحها ببعض من التفسيرات السابقة؛ إذ إن أي تفسير منها بمفرده لا يمكن أن يشرح التباين بين الانكماشين القطري والمماسي، خاصة وأن هذه الانكماشات تتباين بصورة كبيرة حسب طبيعة الجهود الداخلة في عملية الانكماش؛ إذ إن البيانات التي توردها جميع المراجع تؤكد أن نسبة الانكماش القطري إلى المماسي تتباين من ٢ر٠ إلى ٢٧ مرة حسب طبيعة معدل التجفيف وبالتالي الجهود المتولدة خلال التجفيف (Stamm, 1964).

هذا وعملية الانكماش أو الانتفاخ يصاحبها جهود قد تؤدي إلى تغيير النسبة بين الانكماش المماسي والقطري، كما وأن ضغوط الانتفاخ تعد عالية في حالات الغرويات المسامية مثل الخشب ومع ثقل نوعي ١ر٤ فإن ضغط الانتفاخ يصل إلى عشرة آلاف رطل/ بوصة٢، وبالنسبة للجدار الخلوي (١ر٤٦) فإن هذا يصل إلى ١٢ ألف رطل/ بوصة٢ عمليًا، وإن كانت الحسابات النظرية تقود إلى ضعف هذه القيمة (Stamm, 1964) ومن المعروف أن عددًا من الحضارات القديمة استخدمت ضغط الانتفاخ في الخشب لقطع (الجرانيت) كما فعل الفراعنة.

الخواص الحرارية للأخشاب

Thermal Properties of Wood

مقدمـــــة

علاقة الأخشاب بالحرارة مهمة للصناعات الخشبية ومعالجة الأخشاب وتجفيفها ومن المعروف أن الأجسام الصماء مع رفع حرارتها يصاحب ذلك تباعد بين الجزيئات المكونة لهذه الأجسام، وهذا يؤدي إلى زيادة في الأبعاد الطولية، وزيادة في الحجم،

وعلى هذا فإن زيادة الطاقة الداخلية لحجم معين من الخشب يصاحبه زيادة حركية لجزيئاته، وبالتالي زيادة المسافة بين هذه الجزيئات مما يؤدي إلى تمدد طولي وحجمي لقطعة الخشب.

والتمدد الطولي في الأخشاب. يمكن حسابه بالمعادلة الآتية:

المعادلة (٦-١٦).. $\Delta L = \alpha L_o \Delta t$

حيث إن التمدد الطولي $= \Delta L$

معامل التمدد الحراري $= \alpha$

الزيادة في الحرارة $= \Delta t$

الطول الأصلي $= L_o$

ويتراوح معامل التمدد الطولي بين الأخشاب المسامية والأخشاب المخروطية ما بين ٩ر١×١٠^-٦ وحتى ١١×١٠^-٦ في الاتجاه الموازي للألياف، أما في الاتجاه العمودي على الألياف فيتراوح ما بين ٤ر٤٧×١٠^-٦= ٧ر٧٢×١٠^-٦ حسب الأجناس الشجرية، ومن المعروف أن التمدد الطولي في الاتجاه الموازي للألياف غير متلازم مع الكثافة وإن كانت قيم معامل التمدد الطولي في الاتجاه القطري والمماسي تزيد مع زيادة الثقل النوعي (جدول رقم ١٧).

جدول ١٧. النسبة المئوية للانتفاخ الكلي في الأخشاب

نوع الخشب	الثقل النوعي	اتجاه الأليـاف		
		موازي	مماسي	قطـري
سبروس	٤٢ر٠	١٥ر٣×١٠^-٦	٣ر٣٢×١٠^-٦	٨ر٢٣×١٠^-٦
السيكويا	٤٢ر٠	٢٨ر٤×١٠^-٦	١ر٣٥×١٠^-٦	٦ر٢٣×١٠^-٦
دوجلاس فير	٥١ر٠	١٦ر٣×١٠^-٦	٧ر٤٢×١٠^-٦	٩ر٢٧×١٠^-٦
الحور القطني	٤٣ر٠	٨٩ر٢×١٠^-٦	٦ر٣٢×١٠^-٦	٢ر٢٣×١٠^-٦
القيقب السكري	٦٨ر٠	٨٢ر٣×١٠^-٦	٣ر٣٥×١٠^-٦	٨ر٢٦×١٠^-٦

المصدر: الجدول معدل (عن Brown *et al*, 1952)

والتبـاين ما بين معامل التمدد في الاتجاه القطري والمماسي راجع إلى التركيب التشريحي للخشب كما أن التمدد الحراري في الاتجاه العمودي على الألياف عادة ما يكـون ٨ـ١٢ مرة قدره في الاتجـاه المـوازي للألياف، وهذا راجع إلى أن الأخشاب بتكـوينهـا تضم ما يقـارب ٤٧٪ سيليلوز، وإذا راجعنـا الـتركيب الـدقيق الجزيئي للميكروفبرلات السليولوزية نجدها في شكل خيوط اسطوانية نسبة طولها إلى قطرها حوالي ١٠ـ١ ، وبالتالي فإن الذبذبات الجزيئية الناتجة عن الحرارة تكون أكثر عشر مرات على الأقـل فـي الاتجـاه العمـودي علـى الميكروفبـرلات عنهـا فـي الاتجـاه الموازي لها (Kollmann and Côté, 1968) ، وعمــومًـا فهـذه التغـيرات بالتمـدد التي تحدث في الأخشـاب تعد صغيرة جدًا إذا ما قورنت بالتغيرات التي تحدث في الأخشاب لتغير الرطوبة بها، ولهذا فهي عادة ما تهمل وإن كنا نذكر أن الأخشاب إذا وصلت إلى درجة الحـرارة، فالطبقات الخارجية من سيقان الأشجار تنكمش قبل الطبقات الداخلية، ويعزى لهذه التباينات في الانكماشات تشققات إصابات الصقيع (٤ـ٤ ـ د في هذا المؤلف).

الطاقة الحرارية للأخشـاب

إن الطاقة الحرارية للأخشاب ما هي إلا تعبير عن كمية الطاقة الحرارية اللازمة لإحداث تغير نوعي في الطاقة الحرارية للجزيئات المكونة للمادة الخشبية وهذه الطاقة تظهر في صورة درجة حرارة ويعبر عنها إمَّا بصورة وحدات حرارية كالورى وإما بصورة وحدات حرارية بريطانية (B.t.u.) . وعلى هذا فإن الطاقة الحرارية تشير إلى الكمية من الحرارة اللازمة لإحداث تغير في درجة الحرارة، وعلى هذا فالطاقة الحرارية تساوي

المعادلة (٦ـ١٧). . الطاقة الحرارية = $\frac{Q}{\Delta t}$

حيث إن: Q = كمية الحرارة الممكنة لإحداث تغير في درجة الحرارة قدره Δt

والحـرارة النوعية للخشب هي النسبة بين طاقتها الحرارية والطاقة الحرارية للماء عند درجة ١٥°م، فإذا كانت كمية الحرارة Q من السعرات (كالورى) تلزم لرفع درجة حرارة كتله m بالجرام من الخشب من درجة t_1 إلى t_2°م فإن الحرارة النوعية C للخشب تكون.

$$C = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$ المعادلة (٦-١٨) . .

والـواقـع أن الحـرارة النـوعية للخشب منخفضـة عن غيرهـا من المـواد وقـد أعطي (Dunlap, 1912) المعادلة التالية للحرارة النوعية للخشب عند درجة حرارة t .

$$C = 0.226 + 0.0016t \frac{Cal}{gm.\ C^{\circ}}$$ المعادلة (٦-١٨) . .

هذا ويقدم المرجع نفسه قيمًا للحرارة النوعية للخشب تتراوح ما بين ٣١٧ر٠ إلى ٣٣٧ر٠ بين درجة حرارة صفر، ١٠٦°م . هذا وتتباين الحرارة النوعية للخشب بدرجة كبيرة مع المحتوى الرطوبي ويمكن من ذلك كتابة المعادلة التالية لمتوسط الحرارة النوعية في الخشب عند درجة رطوبة محدودة $C_{.m\,c}$

$$C_{m\,c} = M\,(C_{1\,w}) + (1 - M)\,(C_{o\,d})$$ المعادلة (٦-١٩) . .

حيث إن المحتوى الرطوبي في الخشب
على أساس الوزن الرطب = M
الحرارة النوعية للماء = $C_{1\,w}$
الحرارة النوعية للخشب
المجفف بالفـــرن = $C_{o.d}$

ومـن هـذه العــلاقـة السهلـة يمكـن اشتقـاق العــلاقـة التــاليـة التـي ذكــرهـا (Kollmann and Côté, 1968) للحـرارة النوعية للخشب C_m عند محتوى رطوبي (M) محسوب على أساس الوزن المجفف بالفرن .

$$C_m = \frac{M + 0.324}{1 + M}$$ المعادلة (٦-٢٠) . .

التوصيــل الحراري للخشــب

كما سبق أن ذكرنا فإن الحرارة تحدث طاقة ترددية بالجزيئات في الأجسام ؛ ونتيجة لحركة الجزيئات فإنها تتصادم بعضها مع بعض ناقلة بهذا جزءًا من طاقتها الحرارية المستمدة بالحرارة إلى الجزيئات المجاورة وهكذا، والقدرة على نقل الحرارة في هذه الحالة تعتمـد على معـامل التوصيل الحراري عبر مساحة عمودية على اتجاه التيار، ويمكن إعطاء المعادلة التالية لكمية الحرارة الموصلة (H) عبر مساحة محددة (A) عبر سمك (d) في فترة زمنية (T) مع فارق درجة الحرارة عبر السمك قدره (t) بالمعادلة التالية :

المعادلة (٦-٢١) . .

$$H = \frac{KAT\,\Delta t}{d}$$

حيث K هي معامل التوصيل الحراري .

هذا ويعبر عن قيمة K بالسعرات الحرارية/ سم ٢ لدرجة الحرارة المئوية الواحدة لكل سمك سم تعبره الطاقة الحرارية في الثانية . أما في النظام الإنجليزي فيعبر عنه (B.t.u) المنقولة في الساعة عبر مساحة قدم ٢/ فرق درجة فهرنهيت خلال سمك بوصة من المادة .

هذا ويمكن حساب معامل التوصيل الحراري للخشب المجفف بالفرن بالمعادلة .

المعادلة (٦-٢٢) . .

$$K = 1.39 \quad S + 0.165$$

حيث S هي الثقل النوعي على أساس الحجم والوزن الجاف، وهذه المعادلة تبين أن معـامـل التوصيل الحراري يتناسب طرديًا مع الثقل النوعي مع ثبات مقطع المحور الصادي في هذه العلاقة الاستقامية بمقدار ١٦٥ر٠ وهي معامل التوصيل الحراري في الهواء، ولهذا فقد عدل (Maclean, 1941) هذه العلاقة لتضمن الحجم الفراغي من الهواء بالخشب P لتصبح المعادلة كما يلي :

المعادلة (٦-٢٣) . . $K = 1.503 S + 0.00165P$

كذلك فإن التوصيل الحراري للخشب يتباين حسب نسبة المحتوى الرطوبي M% كما يلي:

المعادلة (٦-٢٤) . . $K = 1.503 + 0.165 P/100 + MSK_{1w}$

حيث K_{lw} هي التأثير المائي على التوصيل.

ومن هذه المعادلة يمكن أن تحسب معادلتين حسب المحتوى الرطوبي كما يلي:

المعادلة (٦-٢٥- أ) . . فوق ٤٠٪ رطوبة $K = S (1.39 + 0.038M) + (0.165)$

المعادلة (٦-٢٥- ب) . . تحت ٤٠٪ رطوبة $K = S (1.39 + 0.028M) + (p.165)$

وعادة ما يقل التوصيل الحراري مع خفض المحتوى الرطوبي هذا. ويلاحظ أن التركيب الكيميائي للمستخلصات في الخشب يؤثر تمامًا على التوصيل الحراري للأخشاب، كذلك فإن التوصيل الحراري يطول الألياف ٢ر٥ مرة قدره في الاتجاه العمودي على الألياف، كما أنه في الاتجاه القطري أكبر من الاتجاه المماسي بدرجة قليلة كذلك فإن وجود خشب انضغاط أو خشب شد في لوح من الأخشاب يؤثر على صفات توصيله الحراري حسب زاوية الميكروفبرلات في كل حالة، هذا ويلاحظ عمومًا أن اتجاه الألياف يؤثر على بث الحرارة عبر الأخشاب أو الألواح المركبة وغيرها من منتجات الأخشاب. وقد أظهر Kollmann and Malquist (1955) أن هناك حالتين لذلك، حالة ترتيب متوازٍ للألياف في اتجاه مرور التيار الحراري، وحالة ترتيب موازٍ للألياف في اتجاه عمودي على مرور التيار، وفي الحالة الأولى يحدث أقصى بث للحرارة، وفي الحالة الثانية يكون هذا أدنى بث حراري (transmission)، ويعطي المرجع نفسه تفاصيل الحسابات الرياضية لقياس تأثر مرور التيار الحراري باتجاه الألياف.

الانتشارية الحرارية للخشب Difusivity of Wood

إن الانتشارية الحرارية أو ثابت التوصيل الحراري يمكن حسابه بالمعادلة:

المعادلة (٦-٢٦) . . $h^2 = K/CS = 1/RCS$

حيث C = الحرارة النوعية

R = مقاومة التوصيل أو مقلوب K

S = الكثافــة

K = التوصيل الحراري

وتبلغ قيمة الانتشارية في الأخشاب حوالي ١ر٢٧×١٠ بوصة٢ في الثانية، وتقل الانتشارية مع زيادة الكثافة أو زيادة الرطوبة في الخشب بمعادلة تفاضلية جزئية كما أعطاه Kollmann and Côté, (1968) كما يلي:

المعادلة (٦-٢٧) . . $$\frac{\partial t}{\partial T} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

حيث t = درجة الحرارة لنقطة في وسط فراغي z, y, x

T = الزمن

وحيث إن الخشب أنيزوتروبي الطبيعة فإن معامل الانتشار يتباين في الاتجاه القطري والطولي والمماسي (بإهمال الطولي) ويمكن إعطاء معادلة لذلك كما يلي:

المعادلة (٦-٢٨) . . $$\frac{\partial t}{\partial T} = a_{RD} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + a_{TG} \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}$$

هذا وتنتقـل الحـرارة من الأخشاب بالإشعاع حسب قانون ستيفان وبولترمان المعروف حسب المعادلة.

المعادلة (٦-٢٩) . . $E = \varepsilon . C_r T^4$ (عن المرجع السابق)

حيث T هي درجة الحرارة المطلقة.

C_r ثابت إشعاعي من الأجسام الداكنة السوداء.

ε هي إشعاعية الجسم الحرارية.

والواقع أن الإشعاع الحراري في هذه الحالة ظاهرة سطحية، وكلما زادت خشونة السطح الخشبي ودكانته قلت إشعاعيته، وزادت امتصاصيته الحرارية، ولا توجد علاقة بين هذا وبين ثقله النوعي، وكلما زاد المحتوى الرطوبي كلما زادت الإشعاعية الحرارية (Kollmann and Malquist, 1955).

الخواص الصوتية والكهربية للأخشاب

Acoustical and Electrical Properties of Wood

الخواص الصوتية للأخشاب

تتضمن حركة الموجات الصوتية داخل الأخشاب أربعة ثوابت، هي سرعة الصوت، وتردده (طبقته)، وطول الموجة، وارتفاع قيمة الذبذبات (حدة الصوت)، وبمجرد طرق كمرة خشبية بجسم صلب يحدث بهذه الكمرة الخشبية اهتزازات عند ترددها الرنيني (resonant frequency) ، وهذه الاهتزازات تبث موجات تنتشر في الهواء المحيط بالكمرة الخشبية، وعكس هذا يمكن أن يحدث بمعنى أن وجود موجات صوتية في الوسط المحيط بالكمرة الخشبية يحدث اهتزازات في جسم الكمرة الخشبي المرن، وهذه يعاد بثها في الهواء المحيط بها، وهكذا حتى تمتص طاقة الاهتزازات تمامًا (Brown *et al.*, 1952).

وحركة الصوت بسرعة v يحكمها التردد f وطول الموجات λ والعلاقة التالية:

المعادلة (٦-٣٠).. $V = \lambda f$

وهناك ترددات محددة للأخشاب تتجاوب معها معطية بهذا أعلى قمة أو سعة وهذه الترددات هي الاهتزازات الطبيعية أو الرنين لقطعة الأخشاب. وداخل الخشب يلاحظ ثلاثة أنواع من الاهتزازات الرنينية أو الترددات، هي الطولية، والعرضية، والالتوائية (torsional) . وقد استخدم Hearmon في عام ١٩٤٦م الاهتزازات الالتوائية لتقدير معامل الجساءة أو التصلب، وكان بهذا يستخدم طرقًا غير مدمرة لاختبارات الأخشاب كما ذكر Kollmann and Côté (1968) وهذا مفصل في الفصل السابع.

انتقال الصوت داخل الأخشاب

عند بث موجات صوتية طوليًا داخل كمرة خشبية فإن هذه الحركة تصفها العلاقة التالية:

المعادلة (٦-٣١) . . $V = \sqrt{E/\sigma}$

حيث V سرعة حركة الصوت و E معامل المرونة و σ هي كثافة الخشب.

هذا وسرعة بث الموجات الالتوائية تعتمد على معامل الجساءة أو التصلب بالعلاقة السابقة نفسها.

المعادلة (٦-٣٢) . . $$V = \sqrt{\frac{MOG}{\sigma}}$$

حيث MOG هو معامل الجساءة (modulus of rigidity) وبالتالي فإن نسبة سرعة الصوت بطول الألياف (VII) إلى سرعته عبر الألياف (VI) تعطيها المعادلة

المعادلة (٦-٣٣) . . $$\frac{V_{II}}{V_{I}} = \sqrt{\frac{MOE_{II}}{MOE_{I}}}$$

وهي المعادلة نفسها التي أعطها Kollmann and Côté (1968) ، ونسبة سرعة الصوت في اتجاه الألياف إلى سرعته عبر الألياف تتراوح بين ٤ر١ إلى ١١ر٥ ، هذا وتبلغ سرعة الصوت في الاتجاه الموازي للألياف في الأخشاب ٤٨٠٠ متر/ث في المتوسط بمدى يتراوح بين ٥٠٠م/ ث إلى ٦٠٠٠م/ ث.

هذا ومعامل المرونة يتناسب طرديًا مع الكثافة (الباب السابع) ونلاحظ أن سرعة الصوت في الخشب مستقلة عن الكثافة كما يظهر من المعادلات السابقة، وقد وجد (Kollmann and Côté, 1960) معامل تلازم ضعيف حوالي ١٣ر٠ بين سرعة الصوت والكثافة في الخشب في المتوسط إلا أن هذا المعامل كان عاليًا في حالة خشب السنديان حوالى ٦٤ر٠

إهمادات الإشعاعات الصوتية في الخشب

نلاحظ أن سرعة الصوت في الاتجاه الموازي للألياف تقارب سرعتها في بعض المواد الأخرى إلا أن حركاته في الاتجاه العمودي على الألياف أقل من ذلك بكثير. هذا ونلاحظ أن مقاومة مرور الموجات الصوتية (W) تختلف في الأخشاب تمامًا عن غيرها من المعـادن، وقد نشر Brillie في عام ١٩١٩م معادلات وأرقام لهذا يظهر منها أن تلك المقاومة في الأخشاب تتراوح ما بين ٢٢×١٠⁴ إلى ٣٧×١٠⁴ dyn.s cm وهذه المقاومة تعطيها المعادلة

المعادلة (٦-٣٤). . $$W = \sqrt{\sigma \times MOE}$$

.(Kollmanm & Côté, 1968)

ونـلاحظ أن إهمـاد الاحتكاك الداخلي وإهماد إشعاع الصوت يؤدي إلى إهماد الاهتزازات داخل الخشب ثم اختفائها، والإهمادات الراجعة للإشعاع الصوتي تعتمد على العلاقة بين سرعة الصوت والكثافة، وفي هذا فإن الأخشاب تتفوق على غيرها بدرجة كبيرة جدًا في العزل الصوتي.

وبالتالي فإن اختبار الأخشاب حسب كثافتها ومعامل مرونتها يعد مهمًا في عمل الآلات الموسيقية، أو عمليات العزل الصوتي. هذا والفقد في الصوت الناتج عن الطاقة الإشعاعية الصوتية داخل الأجسام الصماء من الداخل يرجع إلى الاهتزازات النـاجمة عن احتكـاك الجـزيئـات المكـونـة لها. هذا ويمكن القـول ـ من أبحـاث (James, 1961) ـ بأن الاحتكـاك الداخلي في الخشب ينتج عن مادة الخشب الجاف بالإضافة إلى وجود الماء المرتبط بالأسطح منها.

ومن تداخـل هذه العوامل مع درجة الحرارة المحيطة بالخشب يظهر أن أدنى احتكاك داخل في الخشب يقع في مدى من ـ١٨°م إلى ٩٥°م مع محتوى رطوبة يتراوح من ٢ إلى ٢٨٪، ومع حرارة الغرفة فإن أدنى قيمة لهذا الاحتكاك الداخلي تكون عند ٧٪ محتوى رطوبة. هذا ونلاحظ أن العزل الصوتي للأخشاب بسهولة يرجع إلى الطاقة الصوتية، حيث إن الصوت المسموع في الهواء العادي ما هو إلا حركة طاقة.

ومن المعروف أن ظاهرة الاهتزازات والموجات التي تتكون في وسط مرن بين تردد ١٦,٠٠٠ إلى ٢٠,٠٠٠ Hz يمكن أن يطلق عليها تموجات صوتية ونلاحظ أننا إذا نظرنا إلى الصوت المسموع كحركة طاقة نلاحظ أن السمع البشري محدود بطاقة تساوي ١٠^-١٦ W/cm² وهـذا يوازي صفرًا decibels (Kollmann and Côté, 1960) ومن هذا نلاحظ أن العزل الصوتي في المنشآت سواء الخشبية أو غيرها من السهل الحصول عليه مع التصميم الدقيق للمنشأ.

ونلاحظ أن امتصاص الصوت في الخشب يختلف تمامًا عن قوة العزل الصوتي فإن العزل الصوتي يتطلب مادة خشبية ذات وزن عالٍ شبه مصمته، وهذا عكس ما تقدمه الطبيعة، بينما امتصاص الصوت يتطلب مواد أكثر ليونة ومسامية تسمح بحركة الجزيئات المكونة للهواء بحرية وامتصاص الصوت يعتمد على التردد. والواقع أن معظم المواد تمتص الصوت إلا أن قدرتها على الامتصاص تزيد كلما زادت ليونتها ومساميتها، فمثلاً الخشب الليفي من الألواح المركبة يمتص صوتًا أكثر من الترددات العالية، ومع زيادة سمك اللوح تزداد قدرته على الامتصاص. ولهذا فإن من أفضل التكوينات وسائد الألواح الليفية ذات المسام المتسعة.

الخــواص الكهربيـة للأخشـاب

إن الحديث عن الخواص الكهربية للخشب يجب أن يتناول خواص تتعلق بالتيار المستمر DC ، والتيار المتغير AC ، هذا ونلاحظ أنه بالنسبة للتيار المستمر فإن المقاومة لمرور التيار الكهـربي وعملية توصيل التيار الكهربي تختلف حسب درجة الرطوبة في الخشب، فالخشب الجاف عازل جيد لمرور التيار الكهربي، كذلك فإن الألواح المركبة من ألياف خشبية مع لواصق مثل الفينول فورمالدهيد تعد بالتالي عازلة بدرجة مقبولة إلا أن قدرة العزل الكهربي للخشب تنخفض بارتفاع محتواه الرطوبي خاصة تحت نقطة تشبع الألياف فإن أقل كمية من الرطوبة ترفع التوصيل الكهربي بدرجة واضحة. هذا وقد شرح Lin (1965) التوصيل الكهربي خلال الجدار الخلوي للخشب، وأظهر أن عدد حوامل الشحنة في الخشب هو العامل الرئيس المحدد لمدى التوصيل في أي مدى

رطـوبي من صفـر إلى ٢٠٪ وعند محتويات رطوبة أعلى فإن درجة انفصال الأيونات الممتصة تكون عالية بحيث إن حركة الأيونات تصبح العامل الرئيس في تحديد التوصيل الكهربي، وبالتالي فإن أي تغير في تركيز الأيونات أو توصيلها بغير التوصيل الكهربي للخشب. هذا وقـد شرح Stamm (1964) العـلاقـة بين المحتـوى الرطوبي والمقاومة الكهـربية في مدى من ٨ـ١٧٠٪ رطوبة ولاحظ أنه تحت نقطة تشبع الألياف كانت العلاقة استقامية بين لوغاريتم التوصيل الكهربي (وهو مقلوب المقاومة) وبين المحتوى الرطوبي للخشب، وقد لاحظ العالم نفسه أن التغير في المحتوى الرطوبي من صفر إلى ٣٠٪ ينتج عنه زيادة حوالي مليون مرة في التوصيل الكهربي في حين أن هذه الزيادة كانت لا تزيد على ٥٠ مرة في التوصيل عندما رفع المحتوى الرطوبي حتى نقطة التشبع المائي الكلي. هذا ومدى اعتماد مقاومة التوصيل الكهربي على الرطوبة في الخشب في المـدى ما بين الـوضـع الجاف و١٥٪ رطوبة يظهر واضحًا في شكل علاقة استقامية والعـلاقة ما بين لوغاريتم المقاومة للتيار الكهربي ولوغاريتم الرطوبة علاقة استقامية أيضًا، وإذا أخذنا العلاقة بين المقاومة وثابت الازدواج الكهربي للخشب نلاحظ أنها كالعلاقة التالية:

$$\text{Log}\, R = N + \frac{L}{\varepsilon_w} \qquad \text{المعادلة (٦ـ٣٥)..}$$

حيث إن R = المقاومة بالأوم سنتيمتر

N,L = ثوابت

ε_w = ثابت الازدواج الكهربي لمادة الخشب وهي تساوى ٣٫٩٣×١٠^(m×٠٫٢٤٢)

m هي درجة الرطوبة.

وهذه المعادلة أعطاها (Brown *et al.*, 1952).

هذا ويلاحظ أن الخشب يبدي مقاومة قليلة للتيار الكهربي المار موازيًا للألياف تقل عنه في المار عموديًا على الألياف، والمقاومة بطول الألياف تقريبًا تبلغ نصف المقاومة عموديًا على الألياف كما أن المقاومة في الاتجاه القطري تبلغ حوالى ١٠٪ أقل منها في

الاتجاه المماسي. كما أن ارتفاع الحرارة يقلل مقاومة مرور التيار الكهربي في الأخشاب (التيار المستمر). كذلك فإن العلاقة بين المحتوى الرطوبي مقدرًا بأجهزة قياس الرطوبة الكهـربية (electrical moisture meters) ودرجـة الحـرارة علاقـة استقـامية في المدى الهيجروسكوبي (Keylwerth and Moack) . هذا وقد وجد Lin (1965) أن العلاقة بين لوغاريتم المقاومة ومقلوب الحرارة المطلقة عند مستويات مختلفة من الرطوبة بالأخشاب المخـروطية كانت استقـامية عنـد درجات الحرارة المنخفضة ثم تصبح انحنائية عند الرطوبة المرتفعة إلا أنها عند رطوبة نقطة تشبع الألياف كانت غير مستمرة عند حرارة صفر إلى ١٠ تحت الصفر المئوي بسبب البلورات الثلجية المتكونة خارجيًا بفراغات الجـدر الخلوية مثـل مـا وجـده Kubler عام ١٩٦٢م عـن الانكماشات البـاردة وأكـده Kollmann and Côté فـي عـام ١٩٦٨م.

أما بالنسبة للخواص الكهربية في الأخشاب مع التيار المتردد فنلاحظ أن المقاومة عند الترددات العالية أقل بكثير من حالتها في التيار المستمر، ويلاحظ أن تأثير الحرارة على المقاومة مع الترددات العالية يعد قليلاً جدًا إذا ما قورن بالمقاومة للتيار المستمر.

ثابت الازدواج الكهربي للخشب Wood Dielectric Constants

إذا وضعت قطعة من الأخشاب (مادة مزدوجة الكهربية) بين قطبين في دائرة يمر بها تيار متردد يلاحظ أن هذا يماثل مكثفًا بطاقة C فارادى متوازيًا مع مقاومة R بالأوم والتيار I في هذا النظام كله يتكون من مركبتين Ic ، وهي التيار المار في المكثف وI_R ، وهي التيار المار في المقاومة. فإذا كانت زاوية الطور (angle phase) هي Ø ، وزاوية فقد القـدرة power loss هي σ قيمـة فإن σ هي الفرق بين الزاوية القائمة وزاوية الطور (σ=90-G) فتحت تأثير تيار متردد فإن الجزيئات المكونة للخشب تعكس توجهها مع تغير اتجاه التيار مما يسبب احتكاكًا بين الجزيئات يظهر في شكل انبعاث حرارة. وفي هذه الحالة يكون القدرة:

$$P = E.\,I_R = E\,I\,\text{Cos}\quad \varnothing = \frac{E.^2}{R}$$

المعادلة (٦-٣٦) . .

هذا والازدواج الكهربي للخشب يعبر عنه بثابت هذا الازدواج الكهربي ε ، وهـذا يتراوح ما بين ٨ر١-٠ر٣ في الأخشاب، حيث يكون التيار في المجال الكهربي قطريًا على الحلقات النموية في ألواح منشورة مماسيًا، وهذا حسب ما أورده Kollmann and Côté, (1968) في حين أن تحويل التيار ليكون موازيًا للألياف يعطي ثابت ازدواج كهربي أعلى بمقدار ٣٠-٦٠٪ من السابق، ويتضح مما سبق أن هناك علاقة واضحة بين ثابت الازدواج الكهربي وكثافة الخشب مع تغير الرطوبة مما يمكن من قياس الرطوبة بالأخشاب عن طريق استخدام فقد القدرة أو قياس الطاقة مع أخذ الكثافة في الحسبان دائمًا، ويلاحظ أن ثابت الازدواج الكهربي يزيد مع الترددات العالية مع زيادة الرطوبة بصـورة منحنى يصبح استقاميًا فوق نقطة تشبع الألياف (Skarr, 1948) . وبالنسبة للأخشاب قليلة الكثافة فإن المحتوى الرطوبي العالي جدًا يعطي تأثيرًا كبيرًا يجعل ثابت الازدواج الكهربي فيها يقارب ذلك في الماء.

هذا ويعبر معامل القدرة (power factor) (Cos Ø) في الخشب عن النسبة بين الطاقة الكهربية التي تمر في دورة من المذبيات في مكثف يستخدم الخشب به إلى الطاقـة الكهـربية الكلية المخـزنة في المكثف خلال الدورة (Brown *et al.*, 1952) . ويلاحظ أن استخدام المكثف المذكور في الفراغ التام يعطي معامل قدرة قيمته صفر نظرًا لعدم وجود جسم ذي ازدواج كهربي في المكثف وبه جزيئات يحتك بعضها ببعض، ويلاحظ أن معامل القدرة في الأخشاب يكون عاليًا عند الترددات العالية إذا كانت الرطوبة أقل من ١٥٪ في حين ينعكس الوضع فوق هذا المحتوى الرطوبي (Kollmann, 1961, Skarr, 1948) .

الخواص البيزوكهربية للأخشاب

يظهـر التـأثـير البيزوكهربي إما عن طريق إحداث جهد ميكانيكي يؤدي إلى استقطاب كهربي، أو بإحداث انفعال في المواد من خلال وضعها في تيار كهربي (Bazhenov, 1961) . هذا وقد درست تلك الصفات بواسطة عديد من العلماء في روسيا واليابـان وأمريكا (Kollmann and Côté, 1968) كما ذكرها في تحليلها لتكوين خشب

الانضغاط بالأشجار المعرضة لفعل الرياح بدران وعزت قنديل لأول مرة عام ١٩٧٣م . هذا وقد ركز عديد من البحوث الأولى على السليولوز كمركب مهم في الأخشاب له صفات بلورية . إلا أن الواضح أن الخشب له صفاته الانيزوتروبية من حيث التباين في السلوك الفيزيقي بسبب تركيبه المعقد كيميائيًا وتشريحيًا . هذا وقد أظهر Bazhenov الروسي في عام ١٩٦١م أن الجهد في الأخشاب ينتج عنه استقطاب، ومن هذا يظن أن صفـات البيزوكهـربية في الأخشاب ترجع بصورة كبيرة إلى التركيب البيزوكهربي الرئيس ألا وهو السليولوز بالأخشاب .

وقـد ذكـر ذلـك (1968) ,Kollmann and Côté بوضوح أن انفعال القص بين الألياف في الأخشـاب هو الأسـاس في إحـداث الخواص البيزوكهربية وإظهارها في الخشب كما يمكن وصف Tensor للبيزوكهربية في الخشب من ٣×٦ مكونات من معامل البيزوكهربية Piezoelactric modulus . هذا وتعتمـد صفـة البيزوكهربية بالتالـي فـي الخشـب علـى مـدى انتـظـام بلوريـة المـركبـات السليولـوزية بـه، وبالتالـي فـإن درجـة بلـورة الـسـليولــوز فـي الأخـشـاب تتـحـكـم فـي السلـوك البيزوكهــربي للأخشـاب (Kollmann and Côté, 1968) .

المراجـــع

المراجع العربية

بدران، عثمان عدلي وعـزت قنـديـل، السيـد ١٩٧٩ . *أسـاسيات علوم الأشجار وتكنولوجيا الأخشاب* . دار المطبوعات الجديدة، جمهورية مصر العربية . (طبعة ثالثة معدلة) .

المراجـع الانجليزيـة

Brown, H.P., Panshin, A.J. and Forsaith, C. 1952. *Textbook of Wood Technology. Vol. II. Tlhe Physical, Mechanical a and Chemical Properties of the Commercial Woods of the United States.* McGraw Hill. New York.

Choong, C.T. 1963. Movement of Moisture through a Softwood in the Hygroscopic Range. *For. Prad. J.*, 13, pp. 489-498.

Dunlap, F. 1912. The specific heat of wood. U.S.D.A. for Service Bull. No. 110.

El-Osta, M., Kandeel, S.A. El-Meligy, El-Lankany and el-Morshidy 1985. Mathematical Description of the Change in Properties of Casuarina Wood upon Exposure to Gamma Radiation. I. Changes in the Compressive and Tensile Strength. *Vol. 17. pp. 2-11.*

James, W.L. 1961. Internal Friction and Speed of Sound in Douglas Fir. *For. Prod. J.*, vol.11, pp. 383-390.

Janka, G. 1915. Die Harte der Hölzer, Mitt. *Forstl. Versuchswes. Österr.* H. 39. Wien.

Hart, J.D. 1964. Principles of Moisture Movement in Wood. *For. Prod. J.*, 14, pp. 207-214.

Kandeel, S.A. and Bensend, D.W. 1969. Structure, Density and Shrinkage Variation within Silver maple Wood. *Wood Sci.*, Vol. 1 No.4.

Kandeel, S.A. 1971. Polynomial Models to Study and Present within Tree Variations in Wood Properties. *Wood and Fiber.*, Vol. 3(2).

Kandeel, S.A. 1978. Moduli of Rupture and Elasticity Relationship in Few Tropical Hardwoods. *Wood engineering Session 32nd Ann. Meeting conf.* F.P. Soc., Georgia. U.S.A.

Kandeel, S.A. 1980. Beta Ray Scanning of Inter-Increment Density Variation of Wood Plastic composities from Abnormal Wood. *Wood Science.*, Vol. 12 No. 2.

Kollmann, F. 1961. Rheologie und Structur - Festigkeit von Holz. *als als Roh - und werkstoff,* 19 No. 3, pp. 73-80.

Kollmann, F. and W. Côté, 1968. *Principles of Wood Science and Technology.* Springes - Verlay. New York.

Kollmann, F. and Malquist, L. 1955. Untersuchungen uber das Strahlung., *track., Hölzer, Halz Als Roh Und Werkstoff. 21, pp. 77-85.*

Lin, R.T. 1965. A Study on the Electrical Conductioin in Wood. *For. Prod. J.* Vol. 15, pp. 506-514.

Mark, R.E. 1967. *Cell Wall Mechanics of Tracheids,* New Haven and London. Yale University Press. p. 310.

Markawardt, L.J. 1926. New Toughness Machine is Aid in Wood Selection, Wood working Indus., *Jamestown, N.Y. Vol. (2).*

Patterson, D.W. 1985. Adjusting for Specific Gravity. *Wood and Fiber.,* Vol 17. No. 4. USA.

Richardson, S. 1961. A Biological Basis for Sampling in Studies of Wood Properties. *TAPPI.* (Technic., Assoc., Pulp and Papes; In.,) 44, 170-173.

Rowell, R.M. 1984. The Chemistry of Solid Wood, *Adv. in Chem. Series (207) Am. Chem. Sol.* Washington D.C. p. 614.

Smith, D.M. 1954. Maximum Moisture Content Method for Determining Specific Gravity of Small Wood Samples. *USDA. For. Prod. Lab. Report* 2014. USA.

Schniewind, A. 1962. Mechanical behavious of Wood in the light of its anatomic Sltructure Proceedings of Mechanical behaviour of wood, pp. 136-146 University of California U.S.A.

Skaar, C. 1948. The dilectric properties of wood at several radio frequencies. N.Y.S. Coll. of Forestry al: Syracuse. *Univ. Tech. Bull.* No. 69. Syracuse. N.Y.

Stamm, A. 1964. Wood and Cellulose Science. Roland Press New York p. 264.

Stevens, W.C. 1963. The Transverse Shrinkage of Wood. *For. Prod. J.* 13, pp. 386-389.

Wangaard, F. 1950. *The mechanical Properties of Wood.* John Wiley. New York. pp. 377.

USDA; Wood Handbook, 1974. Wood as an engineering material. Forest Service. Agric. Handbook No. 72. USDA Forest Products Laboratory. Madison Wi. U.S.A.

Zimmerman, M.H. and Brown, C. 1971. *Trees Structure and Function.* Springer-Verlag. Berlin and New York.

الفصل السابع

الخواص الميكانيكية والرهيولوجية للأخشاب

● مقدمة ● الاختبارات المدمرة للأخشاب ● المرونة واللدونة والزحف ومبادىء رهيولوجيا الأخشاب ● العوامل المؤثرة على السلوك الميكانيكي للأخشاب ● أساسيات الاختبارات غير المدمرة للأخشاب ● الأساس الكيميائي للسلوك الميكانيكي للأخشاب ● التباين في السلوك الميكانيكي للأخشاب ● المراجع .

مقدمة

إن السلوك الميكانيكي الجيد أو متانة الأخشاب تعبر عن كفاءتها وقدرتها على مقاومة القوى الخارجية التي تعمل عليها، وهي قوى تعمل على تغير شكل وأبعاد قطع الأخشاب بأي صورة، وإن كان التشكل والتشوه في الأخشاب قد ينشأ عن قوى داخل قطعة الأخشاب مثل قوى التجفيف التي يتولد عنها إجهادات التجفيف، إلا أن المقصود بهذا الباب هو التركيز على تفهم مدى مقاومة الأخشاب للقوى الخارجية التي تعمل عليها مما يؤفي إلى تفهم أكثر لصلاحية الأخشاب في عديد من الصناعات الإنشائية، وفي صناعات الأثاث وغيرها من الصناعات الخشبية .

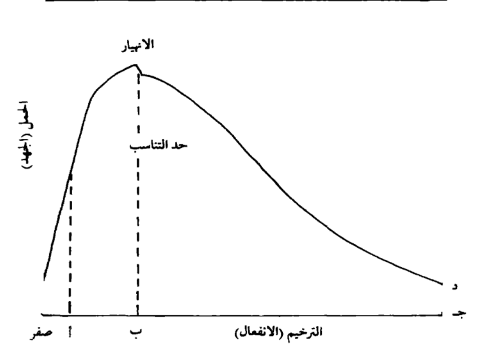
والواقع أن الإلمام بالخواص الميكانيكية لأي نوع من الخشب أساسي في النواحي الاستعمالية، ويمكن الحصول على المعلومات كافة عن الخواص الميكانيكية من التجارب المعملية، أو الاستعمال الفعلي تحت ظروف الاستخدامات المعتادة، وإن كان الحصول على النتائج المعملية يتطلب تجهيز عينات لتعطي بيانات يمكن تعميمها

بحدود معقولة بالنسبة للأجناس الخشبية المختلفة، وهذه التجارب المعملية إذا تمت بكفاءة يمكن أن تعطي بيانات عالية الدقة. وهنا يمكن تحديد أنواع من الاختبارات يمكن إجراؤها معمليًا إما باختبارات يتم فيها تدمير قطع الاختبار الصغيرة، ومن خلال هذا يمكن الحصول على ثوابت الخـواص الميكانيكية المختلفة، وهذا في الاختبارات المدمرة للخشب كذلك فهناك نوع آخر من الاختبارات بدأ في الانتشار منذ حوالي ربع قرن، وهو الاختبارات غير المدمرة وفيها لا يتم تحطيم قطع الاختبار التي عادة ما تكون كمرات خشبية أو ألواحًا بأحجامها الاستعمالية الفعلية، ومن خلال قياس ثوابت معينة بالأخشـاب يمكن الاستدلال على مرونتها، ومن ذلك يستدل رياضيًا على مقاومتها ومتانتها وسلوكها تجاه الأحمال الواقعة عليها عند الاستعمال.

والاختبارات الميكانيكية للأخشاب تتناول قياس مقاومة الانسحاق القصوى، وقوة الشد، وقوة القص، وقوة الانحناء والصلابة، ومقاومة الصدم والصلادة، ومقاومة الانشقاق. والواقع أن تعبير المتانة إذا استعمل بصورته العامة في علوم الأخشاب فإنه يشير إلى جملة هذه الصفات معًا. ومن أجل مقارنة المتانة بين الأخشاب يلاحظ دائمًا أن تكون أنظمة القياس ثابتة حتى تتم المقارنة فتكون على الأساس المتري مثلاً أو غيره بحيث يمكن المقارنة، كذلك فإن الفروق في القيم المتحصل عليها تختلف في مدى أهميتها حسب طبيعة القياس.

تعريفـات أساسية في دراسة الخواص الميكانيكية للأخشاب

إن هناك تعريفات أساسية يجب الإلمام بها قبل الاستطراد في عرض الخواص الميكانيكية للأخشاب، فالجهد (stress) هو ناتج عن قوة موزعة على مساحة؛ ولذلك فإذا عملت قوة على مساحة معينة فإن حاصل قسمة القوة بمقدار الحمل يحدثها P على المساحة التي تعمل عليها A هو التعبير عن الجهد. ومع فعل قوى خارجية كبيرة فإن قطعة الخشب يتشوه شكلها ويحدث بها تشوه أو تشكل دائم يعبر عنه بالانفعال strain وعلى هذا فإن كل جهد ينتج عنه انفعال مرافق له ومتناسب طرديًا معه تمامًا، والشكل رقم ٥٢ يوضح منحنى الجهد والانفعال في الأخشاب، وواضح من الشكل أنه كلما



شكل ٥٢ . منحنى الجهد والانفعال

زادت مقاومة المادة للتشكل زاد انحدار خط العلاقة بين الجهد والانفعال وقرب من المحور الرأسي. هذا والجهود الخارجية ينتج عنها جهود داخلية في الخشب، وهناك ثلاثة أنواع من هذه الجهود، جهود شد وجهود ضغط وجهود قص. وفي حالة جهود الشد فإن التشكل المصاحب لها استطالة في البعد الموازي ونقص في البعد الآخر للجسم أما إذا كانت الجهود تعمل على الضغط فإن التشكل يكون نقصًا في البعد الموازي لمحور عمل القوة وزيادة في البعد العمودي عليه، أما إذا كانت القوى تسبب حركة جزء من القطعة الخشبية لتنزلق عكس الجزء الآخر الملاصق لها في القطعة نفسها فإنها في هذه الحالة تعمل كقوة قص.

هذا وإذا كانت قوة مقاومة الجسم الخشبي عمومًا للقوى الخارجية عالية بحيث يتحمل قوى عالية بدون تغير في الشكل الأصلي، أي بدون تشكل، أي أن مقاومته للتشكل عالية، فيقال: إن هذا الجسم صلب (stiff) وعلى هذا فالكمرة الخشبية كلما صعب ثنيها زادت فيها هذه الصفة.

وعند تحميل أحمال متتالية على كمرة خشبية ثم إزالتها وتحميلها مرة أخرى في دورات تحميل متعددة يلاحظ أنه في بداية الدورات لا يحدث أي نوع من التشكل، وعند هذه المرحلة التي لا ينتج عنها تشكل دائم يكون الجسم مازال مرنًا (elastic) . ومن أمثلة المواد المرنة بصورة شبه تامة المطاط إلا أن تحميل الخشب بأحمال تفوق مرونته يؤدي إلى المرور بنقطة إذا زاد الحمل على حدها نتج في العينة الخشبية تشكل دائم، وهـذه النقطة تسمى حد المرونة أو حد التناسب (proportional limit) ، وفوق هذه النقطة فإن التشكل يصبح دائمًا. ومع تجاوز هذه النقطة والتحميل أعلى منها تصل إلى تشكل دائم، ثم انهيار قطعة الاختبار. وكمية الشغل اللازم لإحداث تشكل دائم يعبر عنها بصفة resiliense ، ويمكن هنا أن تؤخذ المساحة تحت منحنى الجهد مع الانفعال حتى حد التناسب كتعبير عن الشغل حتى هذا الحد، أو يحسب الشغل حتى الحمل الأقصى أي حمل الانهيار. هذا والمواد التي لا تتحمل تشكلاً كثيرًا بل تنهار مع أقل كمية من التحمل تسمى مواد هشة (brittle) كالزجاج، وإذا أظهرت قطعة من الأخشاب مثل هذا السلوك الميكانيكي فيشار إليها بأنها ذات هشاشية (brashness) هذا وتقاس مرونة الأخشاب بمعامل المرونة (MOE) وهو النسبة ما بين الجهد والانفعال (Modulus of elasticity) كما تقاس مقاومة الكسر بمعامل الكسر (Modulus of Rupture) (MOR) .

الاختبارات المدمرة للأخشاب Destructive Timber Testing

عادة ما تجري الاختبارات الاستاتيكية للأخشاب بماكينات اختبار خاصة على عينـات مجهـزة حسب مواصفات قياسية، وفي حالة العينات الصغيرة المختبرة يكون مقطع العينة ٢×٢سم أو ٢×٢ بوصة، ويراعى المحتوى الرطوبي للخشب كما يراعى الثقـل النـوعي، وفي بعض الأخشاب يراعى أيضًا عدد الحلقات السنوية في وحدة الأطوال. وعند عمل هذه الاختبارات الاستاتيكية للأخشاب فإن جهاز الاختبار يوجه حملاً على قطعة الاختبار حتى تنهار، ويقيس معدلات متانتها إلا أن سرعة التحميل تختلف حسب الاختبار، وهناك معادلات لتحديد سرعة آلة الاختبار خلال التحميل، وقد أورد Wangaard (1952) معادلات لحساب سرعة التحميل لقياس الاختبارات المختلفة.

المعادلة (٧-١- أ) . . للانضغاط الموازي للألياف

$$n = ZL$$

المعادلة (٧-١- ب) . . للكمرات ذات التحميل المركزي

$$n = \frac{ZL^2}{6\,d}$$

المعادلة (٧-١- جـ) . . للكمرات المحملة في ثلاث نقط

$$n = \frac{ZL^2}{5.4\,d}$$

حيث Z معدل الانفعال في الألياف لكل بوصة طولية في الدقيقة.

L بحر الكمرة

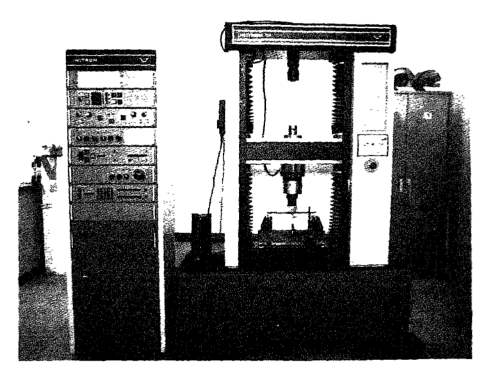
d عمق الكمرة

n سرعة الماكينة في الدقيقة

و Z بالنسبة للكمرات الصغيرة تساوى ١٥ ٠٠ر٠، وبالنسبة لاختبار الانسحاق الأقصى ٠٠٣ر٠ .

اختبار مقاومة الانسحاق أو الانضغاط Crushing Strength

بصورة عامة فإن الاختبارات المدمرة للأخشاب تتضمن تجهيز عينات ذات أبعاد صغيرة أو أبعاد كبيرة مجففة هوائيًا، ووضعها في إحدى الآلات المصممة خصيصًا لاختبار المواد (شكل ٥٣) لقياس خواصها الميكانيكية، ونظرًا لأن الأخشاب كما سبق القول مواد أنيزوتروبية فإنه عند قياس قوتها يراعى اتجاه الألياف في هذه الحالة فإن اختبار مقاومة الانسحاق الأقصى إما أن يتم بحيث يكون اتجاه عمل القوة أو التحميل في ماكينة الاختبار موازيًا لاتجاه الألياف وإما أن يكون عموديًا عليه، وقياس مقاومة



شكل ٥٣. إحدى آلات اختبار الخواص الميكانيكية في الأخشاب.

الانسحاق القصوى في الاتجاه الموازي للألياف بدرجة كبيرة يرتبط بالقص العمودي ولقد ذكر هذا بشيء من التفصيل العالم Wangaard في عام ١٩٥٠م.

هذا ويجرى الاختبار بالتحميل على المساحة الكلية للقطاع العرضي لقطعة الاختبار، أو بالتحميل على جزء منها. ومثل هذا الاختبار يساعد في الدلالة على مدى تحمل الأعمدة الخشبية. وهناك مواصفات محددة لاختيار العينات كما تحددها المواصفات القياسية البريطانية والأمريكية والألمانية وغيرها بالنسبة للاختبارات المدمرة للعينات الخشبية الصغيرة، وعادة ما يتم الاختبار في أعمدة الاختبار على أعمدة قصيرة في بعض الأحيان نسبة قطرها إلى ارتفاعها ١ إلى ٦ ومن هذا الاختبار يتم الحصول على قوة الانسحاق القصوى وجهد الألياف عند حد التناسب ومعامل المرونة، وفي هذا الاختبار تكون سرعة التحميل ٠٫٠٢٤ بوصة/ق في العينات الصغيرة و٠٫٠٣٦ بوصة/ق في العينات الكبيرة.

أما جهد الانسحاق الأقصى (maximum crushing strength) فيحسب بمعادلة المعادلة (٧-٢-ا) . .

$$M.C.S = \frac{P}{A}$$

حيث P الحمل الأقصى
، A المساحة بالوحدات نفسها المستخدمة في قياس الحمل سواء كانت مترية أو غيرها .

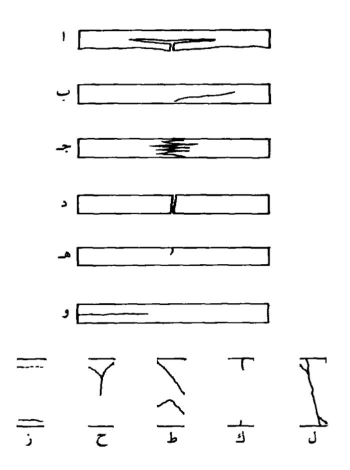
المعادلة (٧-٢-ب) . . $MOE = P_1L/AD$

حيث D هي الانكماش الكلي في الطول بعد الانضغاط، A هي مساحة مقطع قطعة الاختبار، هذا وعند انهيار العينات تظهر أشكال محددة - حسب طبيعة السلوك الميكانيكي للخشب - هي أشكال الانسحاق والانفلاق الوتدي والقص والانشقاق والقص الموازي للألياف (شكل ٥٤) هذا وطبيعة شكل الانهيار تختلف حسب طريقة تجهيز العينة وعادة ما تكون العينة ذات قطاع مماسي حقيقي، وقطري حقيقي بطول الألياف .

والتحميل العمودي على الألياف لقياس قوة الانسحاق القصوى العمودية على الألياف يمكن أن يتم إلا أن الخشب في مثل هذه الأحوال يستمر في التداعي تحت القوة المحملة، ولا تظهر انهياراته بالأشكال السابقة وعادة ما ينص في الاختبار الأخير على النسبة المئوية للتشكل المسموح بها في العينة ويستمر التحميل بسرعة ٠١٢ر٠ بوصة/ دقيقة حتى يصل الانضغاط الكلي إلى ١ر٠ بوصة بالنسبة للعينات ٢×٢×٦ بوصة .

قوة الشد بالأخشاب Tensile Strength

في الواقع أن الخشب يظهر قوة عالية جدًا في مقاومته للشد الموازي للألياف، وفي طبيعة الانهيارات الحادثة بها، وهذا يرجع إلى صعوبة تجهيز العينة (Wangaard, 1950) وإلى التركيب الكيميائي والتشريحي للأخشاب، وطبيعة



شكل ٥٤. أشكال الانهيار في الكمرات الخشبية والأعمدة الخشبية.

الروابط الكيميائية للجزيئات السليولوزية بالخشب (Mark, 1967; Browning, 1963). هذا والشد الموازي للألياف في الأخشاب يعد أعلى من الشد العمودي على الألياف في الأخشاب بدرجة كبيرة بنسبة ٤٠ إلى ١ تقريبًا. هذا والانهيار في قطعة الاختبار في الشد الموازي للألياف يحدث في صورة انهيار من نوع القص وليس انهيار شد حقيقي في معظم الأحوال. وعادة ما يوجد الانهيار بتمزق عبر الألياف يمتد حلزونيًا في اتجاهها، وطبيعة هذا الأنهيار وشكله لا تأثير للمحتوى الرطوبي عليها بصورة واضحة، أما الشد العمودي على الألياف فهو يتقارب بدرجة كبيرة فوق مقاومة الانشقاق (cleavage)، وتقدر القوة اللازمة لإحداث الانهيار بالكيلوجرامات مقسومة على المساحة بالسنتيمتر المربع، أو بالأرطال مقسومة على المساحة بالبوصة المربعة وتكون سرعة التحميل ٠٥ر بوصة/ دقيقة (Mark, 1967).

قـوة مقاومـة القـص Shearing Strength

وهذه تقيس قدرة الخشب على مقاومة القوى المسببة لحركة انزلاق جزء من قطعة الاختبـار ضد الجـزء الآخـر منهـا، وهناك قياس للقص الموازي للألياف، والقص العمودي على الألياف، والقص في الاتجاه المائل.

ويلاحظ في الكمرات المحملة مركزيًا أن تأثير وزن التحميل يؤدي إلى إحداث قص عبر الألياف في كمـرة الاختبار وهذا الجهد يوازي محصلة قوى القص العاملة عمـوديًا على محور الكمـرة وتختلف في مقـاطع الكمرة المختلفة حسب شكل الكمرة وطريقة التحميل.

هذا ويلاحظ أيضًا في الكمرات المحملة حدوث قص أفقي، وهو القص الذي يدفع الليفة إلى التحرك في اتجاه معاكس لليفه أخرى في اتجاه محور الكمرة نفسه مثلما يحدث لو وضع عدد من الألواح متراصة فوق بعضها في شكل كمرة. هذا ويلاحظ في الكمرات الخشبية الكبيرة أن الانهيار بالقص الأفقي يمكن حدوثه بسبب وجود عيوب طبيعية أصلاً في الكمرة.

وتحسب قوة القص (shear) بالمعادلة التالية:

$$Sh. = \frac{P}{A}$$ .. المعادلة (٧-٣)

وتكون سرعة التحميل ٠١٥ر بوصة/ دقيقة

قوة الانحناء ومعامل المرونة ومعامل الكسر

في الواقع أن اختبار الكمرات بالتحميل المركزي، أو التحميل في ثلاث نقط، أو التحميل المـوزع يؤدي إلى الحصـول على ثوابت للخـواص الميكانيكية، ويعطي معلومـات أكثـر من أي اختبـار آخـر في الأخشاب، ويلاحظ أن الجهود المتكونة في

الكمرات مع التحميل تظهر بوضوح، ويمكن عن طريق التحميل لقياس قوة الانحناء في الأخشـاب الحصول على بيانات متعددة تقيس ثوابت مختلفة في الأخشاب، وفي تجارب قياس قوة الانحناء الاستاتي في الأخشاب تؤخذ العينات في شكل كمرات بطول اتجاه الألياف بأبعـاد ٢×٢×٣٠ سنتيمـترًا أو بوصـة (حسب نظام القياس) ويكون التحميل بحيث يكون طول بحر العينة ٢٨سم (أو بوصة)، أو أقل حسب المواصفات المتبعـة، سواء في ذلـك الأمـريكية .Amer. S.T.M أو الـبريطانية .B.S.S أو غيرها، ويراعى أن تكـون العينـات خالية من العيوب الـطبيعية مثـل العقد، ويحسب عدد الحلقـات السنـوية في السم الـطولي أو البوصة الطولية خاصة في المخروطيات ذات الانتقال الفجائي بين خشب الربيع وخشب الصيف (مثل الصنوبريات الجنوبية) كما تحسب نسبة خشب الصيف. وعادة خلال الاختبار يتم في جهاز القياس (أو ماكينة الاختبـارات) تسجيل منحنى الجهـد والانفعال كما يقدر بالضبط مقدار الترخيم أو الانبعاج (deflection) الحادث خلال خطوات التحميل في الكمرة، هذا ويراعى في بدء الاختبار تحديد الوجه الذي يتم عليه التحميل (مماسي أو قطري) وعادة يتم هذا على الوجه المماسي القريب من النخاع في الساق الشجرية، وفي هذا الاختبار تراعى دائمًا سرعـة التحميـل. وينـص عليهـا فـي المـواصفـات القياسيـة الـدولية وهـي ١ر٠ بوصـة/ث فـي .B.S.S للعينـات ذات المقـطـع ٢×٢سم (بـدران وعـزت قنـديـل ١٩٧٩م) (Choong, 1965) .

وبعـد إتمـام الاختبـار بانهيار العينـة يسجـل شكل الانهيارات ونوعها (انظر شكل ٥٤) وهناك أشكال مختلفة لانهيار الكمرات الخشبية (Wangaard, (1950 كما يلي:

١ ـ انهيــار شد بسيــط

وفيه يكون شد مباشر ممزق للألياف في الجزء الأسفل من الكمرة وهذا يرجع إلى جهد الشد الموازي للألياف، وهذا النوع طبيعي الحدوث في العينات المجففة هوائيًا ذات الألياف المنتظمة.

٢ ـ انهيار شد متقاطع

وفيه يكون سطح الانهيار ناشئًا عن قوى شد تعمل مائلة على اتجاه الألياف، وتظهر بوضوح في الكمرات ذات الاتجاه الليفي المائل أو الحلزوني.

٣ ـ انهيار شد متشظٍ

وفيه يأخـذ الانهيار شكلاً متعدد الالتواءات (زاجزاج) وينتج عنه الانهيار في الجانب الأسفل من الكمرة، وهو مميز للأخشاب القوية، ويكون فيه سطح الانهيار ليفيًا.

٤ ـ انهيــار شــد هـش

وفيه تنهار الكمرة بشكل قطع حاد وهو يظهر في الأخشاب الهشة التي تنهار بدون تشكل كبير.

٥ ـ انهيــار انضغــاط

وفيه يظهر الانهيار في سطح الانضغاط، أي السطح الأعلى من الكمرة، حيث ينهار هذا الجزء أو يتجعد، ثم يمتد إلى بقية قطاع الكمرة.

٦ ـ انهيــار قـص أفقـي

وفيه تنزلق الأجزاء العليا للكمرة في اتجاه مضاد للأجزاء السفلي، ويحدث انفلاق تقريبًا في المحور الطولي الأوسط في الكمرة، وهذا لا يظهر إلا في العينات كبيرة الحجم للاختبار، ومن مسبباته عيوب طبيعة تكوين الخشب أصلاً مثل التشققات.

هذا ومن اختبار الانحنـاء الاستاتـي يمكـن الحصـول علـى عدة قيم تعطي قياسات توضحهـا المعـادلات التاليـة التي أوردها العديـد مـن المراجع، مثل بدران وعزت قنديل (١٩٧٩م)، Kollmann and Côté (1968) و Brown *et al.*, (1952) و Wangaard, (1950) .

المعادلة (٧-٤) . . $r = \frac{1.5 P_1 l}{bd^2}$

المعادلة (٧-٥) . . $MOE = \frac{P_1 l^3}{4 Dbd^3}$

المعادلة (٧-٦) . . $MOR = \frac{1.5 Pl}{bd^2}$

المعادلة (٧-٧) . . $S = \frac{P_1 D}{2V}$

المعادلة (٧-٨) . . $J = \frac{3P}{4 bd}$

حيث إن b,d,l عرض العينات وعمقها وبحرها .

P الحمـل الأقصى .

P1 الحمل عند حد التناسب .

MOE معامل المرونة modulus of elasticity .

r جهد الألياف عند حد التناسب .

MOR معامل الكسر modulus of rupture .

S الشغل عند حد التناسب elastic resiliance .

J القص الأقصى على وحدة المساحة .

V حجم الكمرة بين نقطتي الارتكاز .

D الترخيم الكلي عند حد التناسب total deflection .

هذا وفي اختبار الانحناء الاستاتي في العينات الصغيرة تكون نسبة عمق العينة إلى بحرها ١ إلى ١٤ في المعتاد، وذلك بمقطع ٢سم ، وطول العينة بين ركيزتي التحميل ٢٨سم إلا أنه قد يتم الاختبار خاصة في قطع الاختبار ذات الحجم الاستعمالي الضخم بحيث تكون هذه النسبة ١ إلى ٢٠ والواقع أن هناك دراسات متعددة في هذا المجال

(بدران وعزت قنديل (١٩٧٩م)، Schniwind (1962) إلا أن المعروف هو أن النسبة ١ إلى ١٤ بالنسبة للعينات الاستعمالية الضخمة الحجم تكون نتائج معامل المرونة MOE في دقتها حوالي ٩٤٪ من الدقة الحقيقية، وقد تصل إلى نسب أعلى من هذا؛ ولهذا فإن تغيير النسبة بين عمق العينة واتساع البحر كعلاقة هندسية في العينات الصغيرة له تأثير على مدى صلاحية البيانات المتحصل عليها وقدرتها على التنبؤ بمعامل المرونة الفعلي للكمرات الخشبية عند استعمالها.

مقاومة الصدم والصلابة ومقاومة الالتواء

اختبار مقاومة الصدم Impact Test

يجرى هذا الاختبار على كمرات تماثل في أبعادها أبعاد قطع الاختبار في الانحناء الاستاتي ويتلخص الاختبار في سقوط مطرقة ذات ثقل معين من ارتفاع معين لتصطدم بكمرة الاختبار المثبتة على ركيزتين بينهما مسافة معلومة (٢٤سم في الاختبارات البريطانية)، ويقاس مقدار الطاقة الممتصة بواسطة العينة حتى يحدث الانهيار، وفي أحد الاختبارات الدولية .B.S.S يتم إسقاط مطرقة وزنها ٨٫٥ كيلوجرام تتحرك في شكل بندول على وسط كمرة الاختبار، وهذه المطرقة تهبط لمسافة ١٫٢ متر معطية بهذا طاقة تقارب ١٠كيلوجرام/ متر وفي بعض آلات الاختبار مثل طراز amsler فإن الطاقة الحركية الكلية للمطرقة يمتص جزء منها خلال انهيار القضيب الخشبي بالصدم والطاقة المتبقية تدفع بالمطرقة للتحرك لأعلى في الاتجاه المضاد محركة بهذا مؤشرًا مدرجًا رأسيًا يشير إلى الطاقة الممتصة خلال كسر الكمرة الخشبية بالكيلوجرام/ متر (بدران وعزت قنديل، ١٩٧٩م).

اختبار الصلابة Toughness Test

إن الصلابة تعبر عن قدرة الخشب على امتصاص طاقة حركية أو مقاومة الصدمات، وهي صفة تتأثر بعديد من العيوب الطبيعية للأخشاب، مثل الانهيارات الدقيقة في الجدر الخلوية، أو بعض مراحل التحلل، وقد صمم عدد من آلات الاختبار لقياس هذه الصفة، وأحدها تلك الآلة التي صممها معمل منتجات الغابات في مدينة

ماديسون بالولايات المتحدة الأمريكية (Markwardt, 1926) ، وقد وضع علماء معهد منتجات الغابات في ماديسون جداول لقراءة قيم الصلابة بها وتقديرها.

اختبار الالتواء

هناك آلات مصممة لقياس هذه الصفة التي هي عبارة عن اختبار التواء ليعطي إشارة إلى مقدار صلابة العينة المختبرة، وفي هذا الاختبار يتم دوران أحد طرفي الكمرة في اتجاه مضاد لنهايتها الأخرى، وفي هذه الحالة تتعرض الألياف للالتفاف في شكل حلزوني حول محور الكمرة لجهود شد، وعند التفافها أكثر تميل إلى الضغط على القطاعات المركزية في محور الكمرة، ومع زيادة الانفعال والتشوه فإن ارتباط الألياف جانبيًا تتفكك وينزلق بعضها عن بعض حتى يتم قصها تمامًا، هذا ويلاحظ أن الأخشاب الهشة تنكسر فجأة في هذا الاختبار.

كما يلاحظ أن معامل التصلب modulus of rigidity (M.O.G.) في الاتجاه الطولي المماسي، والقطري أو في الاتجاه القطري المماسي يؤثر على هذه الصفة، وكما تذكر معادلة Baumann ؛ فإن M.O.G. تعطيها المعادلة (٧ـ٩).

وهذه تعطي فكرة عن متانة الأخشاب في هذا الاختبار، وهي تتراوح من ١٠ في خشب الأوكومي الأفريقي إلى ٣٥ في بعض أنواع البياض (Kollmann and Côté, 1968) ويعطي المرجع نفسه المعادلة التالية لقياس قوة مقاومة الألتواء معادلة (٧ـ٩). . .

المعادلة (٧ـ٩). .

$$MOG = \frac{MOE}{17}$$

المعادلة (٧ـ١٠). .

$$T = 4.8 \left(\frac{Mt}{P^3}\right)$$

حيث

Mt عزم الالتواء سم / كجم

P مقطع حافة الكمرة (سم)

T قوة مقاومة الالتواء

اختبار الصلادة ومقاومة الاحتكاك والانشقاق في الأخشاب

إن اختبار الصلادة يتضمن قياس مقاومة الخشب لدخول جسم صلب لإحداث ندبة فيه، ويتم اختبار الصلادة بطرق عديدة نذكر منها اختبار الصلادة بطريقة جانكا Janka ، أو طريقة Brinell ، وتقاس قوة المقاومة أو الحمل اللازم لترقيد نصف قطر كرة من الصلب ذات قطر معلوم ١١٫٢٨ملم مع سرعة تحميل قدرها ٠٫٢٥ بوصة، ويغيب نصف قطر الكمرة تمامًا داخل السطح الخشبي سواء في ذلك المماسي أو القطري أو العرضي. وقد درس جانكا Janka (1915) العلاقة بين الصلادة H وقوة الانسحاق القصوى M.C.S بالمعادلة رقم (٧-١١).

المعادلة (٧-١١). . $H = 2\,M.C.S - 500 \quad Kg/cm^2$

هذا وفي حالة الأخشاب ذات الصلادة المرتفعة مثل الأخشاب المعالجة بأشعة الجاما والبلاستيك فقد طور قنديل هذا الاختبار ليلائمها (Kandeel, 1974) ، وقد تم تعديل عمق الندبة ليصبح مواكبًا للصلادة المرتفعة لأخشاب البلاستيك المركبة.

أما مقاومة الاحتكاك (abrasion) فتعد مهمة جدًا للأخشاب خاصة في النواحي الاستعمالية كأخشاب الأرضيات، أو الأخشاب المعرضة لتآكل مستمر خلال الاستعمال، وظاهرة الاحتكاك هي ظاهرة سهلة لذا فإن الاختبار يتم بطريقة تجريبية بحتة، وعلى هذا فإن قيمته تكون مبنية على أساس المقارنة بين الأنواع المختلفة (Wangaard, 1950) ، ويحسب في الاختبار كمية الفقد بالاحتكاك من سمك العينة خلال احتكاكها بمواد صلبة مثل الكوارتز، أو بتيار هوائي عالي الضغط، أو شرائط صنفرة أو غير ذلك من الأجهزة، ويتم ذلك تحت ظروف تحكم فيها، وهناك ماكينات

مصممـة لتحـدث التـأثـير المماثل للاحتكاك في الاستعمالات العامة، وهذا بالنسبة لأخشاب الأرضيات، ويقاس فيه الفقد في السمك مع الاحتكاك أو الفقد في الوزن مع الاحتكاك (Brillie, 1919) .

والـواقـع أن هذه الصفـة متعلقـة بدرجـة كبـيرة بالصـلادة، وقوة الانسحاق القصوى، وقوة القص، وقد وجد (Kollmann and Côté, 1968) أن هناك علاقة بين مقـاومـة الاحتكاك والثقل النوعي في الأخشاب، وهذه الصفة تتأثر أيضًا بالمحتوى الرطوبي ولهذا تجرى الاختبارات مع مراعاة كل المتغيرات. ويقدم إلى المرجع الأخير تصميم آلة للاختبار ونتائجه. أما اختبار الانشقاق (cleavage) فهو يتعلق بدرجة كبيرة باختبـار الشـد العمـودي على الألياف ونتـائجه مقاربة له، وتنص عليه المواصفات القياسية البريطانية والأمريكية والألمانية.

المرونة واللدونة والزحف ومباديء رهيولوجيا الأخشاب

Elasticity Plasticity, Creapard Principles of Wood Rheology

تعريفـات وقوانيـن أساسية

هناك عدد من القوانين يتناول تفسير الظواهر الطبيعية، وفي الحديث عن السلوك الميكانيكي للأخشاب يهتم بظاهرة المرونة (elasticity) التي تعنى أن أي تشكل يحدث في الجسم الأصم عند مستوى منخفض من الجهود يمكن إزالة آثاره تمامًا بمجرد إزالة القوى المحدثة لهذه الجهود إلا أنه فوق نقطة معينة كما سبق القول، وهي نقطة حد التناسب أو حد المرونة، فإن التشكل الدائم يبدأ في الظهور، ومن ثم تصل المادة إلى نقـطة الانهيار إذا استمـرت الجهـود العـاملة عليها في التعاظم، وفي الواقع أن حد التناسب نقطة متعارف عليها في الأخشاب وغيرها من المواد، وإذا زاد التحميل أعلى من حد التناسب يبدأ المنشأ الخشبي في الاقتراب من نقطة الانهيار بظهور انفعال دائم في تكوينه.

والمرونة كظاهرة يشرحها قانون هوك (Hooke) الذي ينص على أن الانفعال ε يتناسب مع σ وهو الجهد (كج / سم ٢).

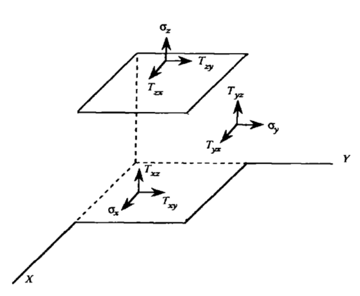
المعادلة (٧-١٢) . .

$$\varepsilon = K\sigma$$

$$K = \frac{\varepsilon}{\sigma}$$

ومقلوب قيمة K أي $\frac{1}{K}$ يساوي، وهذه تسمى معامل المرونة أو معامل يانج young وكما يقول (Kollmann and Côté, 1968) فإن هذه العلاقة تعبر عن جهد فرضي يمكن أن يجعل قضيبًا يتمدد إلى ضعف طوله الأصلي، ويذكر المرجع أن الضعف في هذا التعريف ظاهر حيث إن قوة الشد في معظم المواد أقل من معامل مرونتها، ومعاملات المرونة في الشد، أو الانضغاط، أو الانحناء متقاربة في القيمة، وإن كان حد المرونة أقل في الانضغاط منه في الشد (Kollmann and Côté, 1968)، ونظرًا لأنيزوتروبية الأخشاب (الباب الأول) فيمكن على الأقل القول بوجود ثلاثة قطاعات رئيسة هي العرضي والطول القطري والطولي المماسي، وإذا نظرنا إلى تركيب النسيج الخشبي في الساق نلاحظ أنه يتكون داخل النسيج الخشبي للساق التي تأخذ شكلاً أسطوانيًا من الناحية الهندسية والمحاور الثلاثة الرئيسة المتعامدة فيها، هي العرض والطول المماسي والطول القطري، وإذا اقتطع من الساق الخشبي مكعب ذو ستة أوجه فإن كل وجه منها يسمى حسب القطاع التابع له.

فهناك الطولي المماسي، والطولي القطري والعرضي والمقابل لكل منها والأجسام التي يوجد فيها مثل هذا الانتظام التكعيبي (rhombic) إذا فرضت وجود قوة تعمل عليها من الخارج فمما لا شك فيه أن أي قوة تعمل على أحد الأسطح يمكن تحليلها إلى مركبتين، وبهذا فإن كل سطح في المكعب الخشبي المفروض سابقًا تعمل عليه ثلاث قوى رئيسة ومركبتان، وعلى هذا فإن الأوجه الستة للمكعب يوجد عليها ١٨، وبما أن الأوجه الستة للمكعب ما هي إلا ثلاثة أزواج (الوجه والمقابل له) فإن كل قوة تعمل على سطح من الخارج بمركبتيها يكون لها رد فعل مساوٍ في القيمة ومضاد في الاتجاه على الوجه المقابل. أي أن هناك في الحقيقة تسعة ثوابت مرونة مستقلة بالنسبة للمواد التي تتميز بالانتظام التكعيبي (rhombic) ومن ذلك نلاحظ أن قانون هوك المذكور آنفًا سنطبقه في هذه الحالة ويكون لدينا (شكل رقم ٥٥) ستة مكونات للجهود، وستة مكونات للانفعال كثوابت مرونة لمثل هذا الجسم الذي يتميز بأنه جسم أنيزوتروبي مرن.



شكل ٥٥ . مكونات الجهود والانفعال في جسم أنيزوتروبي مرن .

والواقع أن كل جهد يقابله انفعال، وأي انفعال شد في اتجاه أو استطالة يجب أن يرافقه نقصان أو انكماش في البعد العمودي عليه، وهذا الانكماش أو التقلص في البعـد العمـودي يتناسب طرديًا مع الاستطالة المرنة في الجسم والنسبة بين الانفعال العمودي المصاحب للاستطالة ε_l والانفعال في الاتجاه الطولي ε_c تسمى نسبة بواسون (poisson) وتتحدد بالقانون .

المعادلة (٧ـ١٣) . . نسبة بواسون $= \mu = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_1}$

ومن المنـاقشة السابقة لمكونات الجهود في المكعب الخشبي المذكور التي أظهرت ستة مكـونـات للجهـد، وستـة مكـونـات للانفصال يظهر وجود ست نسب بواسون في

الأخشـاب (براجـع شكـل ٥٥). هذا وقد حسب Horig (1933) نسب بواسون في الأخشاب كما تبدو في الجدول التالي:

جدول ١٨. نسبة بواسون في الأخشاب

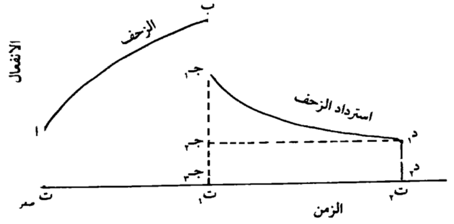
محور الكمرة	اتجاه الانفعال الجانبي			جهود الضغط الموازية لمحور الكمرة
	y طولي	z قطري	x مماسي	
طولـي	—	S_{32}	S_{12}	σ_y
قطـري	S_{23}	—	S_{13}	σ_z
مماسـي	S_{21}	S_{31}	—	σ_x

هذا وقد أعطي الباحث نفسه قيمًا لنسب بواسون التي نسبها تتراوح بين ٠٢١ر٠ إلى ٧٦ر٠ كما يلاحظ أن الأجسـام الأنيزوتـربية مثـل الخشب إذا تم ضغـطها فإن انضغاطيتها C_p (compressibility) يمكن حسابها بالمعادلة التي أعطاها Kollmann and Côté (1968) كما يلي:

المعادلة (٧-١٤).. $C_p = S_{11} + S_{22} + S_{33} + 2\,(S_{23} + S_{31} + S_{21}) > O$

ومعـامـل الجـرم (bulk modulus) هو التعبـير عن الانضغـاطية، ويتراوح ما بين ١٥ر٩×١٠^-٥ سم ٢/ كجم بالنسبة للمخروطيات. وأما في الصالدات فيتراوح ما بين ١٣ر٦×١٠^-٥ إلى ٥ر٢٢٦×١٠^-٥ سم ٢/ كجم ومن هذا يحسب نسبة بواسون للجرام، وهي التي تقـل عن نصف، وذلك حسب ما أورده Kollmann and Côté, (1968). ويذكر المرجع نفسه أن الانضغاطية دالة الكثافة، وتتناسب عكسيًا مع الثقل النوعي. هذا ونلاحظ أن قانون هوك (Hooke) لا يمكن أن يشرح سلوك الأخشاب تلك المادة المعقـدة المـركبة من ثلاث بلمرات عالية على الأقل، وهذا يؤكده أن منحنى الجهد

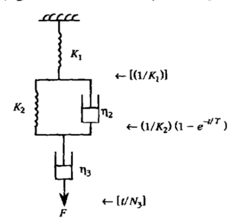
والانفعال للخشب ليس هو المنحنى المثالي لسلوك الأخشاب تامة المرونة مثل المطاط، فمع تكرار دورات التحميل بدون الوصول إلى حد المرونة فإن نوعًا من اللدونة والتغير يبـدأ ظهوره في شكل المنحنى، فتكرار دورات التحميل يعطي منحنيات يزداد فيها الانفعال تدريجيًا، وبها نوع من اللدونة، ويختفي السلوك المرن النموذجي، أي يبدأ ظهور نوع من التشكل الدائم بدرجة كبيرة برغم عدم الوصول لنقطة حد التناسب أو حد المرونة والخشب يسلك بهذا سلوكًا فيه لدونة (elasticity) برغم أنه يسلك بدرجة معقولة سلوكًا مرنًا (elastic) تحت حد التناسب بدرجة كبيرة، فهو بهذا يسلك سلوكًا يجمع بين المرونة واللدونة، وإذا وضع ثقل ثابت أو حمل ثابت في آلة الاختبار على قطعة من الأخشاب، أي إذا وجهنا جهدًا ثابتًا لفترة زمنية طويلة فإن القطعة الخشبة الموجه عليها هذا الجهد الثابت يظهر فيها نوع من الانفعال المتزايد كدالة للوقت على الرغم من وجود حمل ثابت قليل، وهذا الانفعال يعبر عنه بالزحف (creep)، وعند إزالة هذا الحمل مباشرة يحدث استرخاء للجهود ينتج عنه استرداد للزحف، أي اختفاء للانفعال الذي ظهر تحت الحمل الثابت مع مرور الوقت (شكل رقم ٥٦).



شكل ٥٦ . منحنى يبين ظاهرة الزحف واسترداده في الأخشاب باستخدام حمل ثابت وتغير الزمن

وبإزالة كل هذه الجهود والاسترداد المرن للانفعال نجد أن هذا الاسترداد المرن للانفعـال لا يكـون كامـلًا بل يتبقى تشكـل ضئيل دائم بعد دورة التحميل وإزالة التحميل والسلوك الميكانيكي في مثل هذه الحالة يسمى سلوك لزن (viscoelastic).

وهو مثل سلوك الأخشاب وعدد من البلمرات العالية، والواقع أنه قد وضعت نماذج رياضية رهيولوجية لوصف هذا السلوك في الأخشاب الذي يجمع بين اللزوجة والمرونة، وإذا نظر إلى اللزوجة ويعبر عنها تخطيطيًا بالمكبس (شكل رقم ٥٧) ويصفها



$$\delta_t = F\,[(1/K_1) + (1/K_2)(1 - e^{-t/T})\ t/N_3]$$

شكل ٥٧. نموذج تخطيطي يصف ظاهرة الزحف

قانون نيوتن وإذا رمز للسلوك المرن بشكل زنبرك ويمثله قانون (Hooke) فهناك نماذج تخطيطية ورياضية لشرح رهيولوجيا الأخشاب في ضوء استخدام تخطيط جسم Kelvin (وفيه المكبس والزنبرك متصلان على التوازي) أو تخطيط جسم ماكسويل Maxwell (وفيه المكبس والزنبرك على التوالي) فإنه يمكن وضع نموذج تخطيطي رياضي لوصف السلوك اللزن (viscoelastic) للأخشاب وهناك نموذج رياضي استقامي (Schniewind, 1962) . وقد ذكر هذا النموذج بدران وعزت قنديل (١٩٧٩م) وهو يجمع بين جسمي ماكسويل وكلفن ليمثل ظاهرة الزحف واسترداد الزحف في الأخشاب باستخدام ثوابت قانون هوك، وقانون نيوتن، وعلاقة التشكل الحادث بالسلوك الرهيولوجي كدالة للزمن والحرارة مع الحمل الثابت، ثم إزالة التحميل، هذا ويذكر بدران وعزت قنديل (١٩٧٩م) أن النظرية الفيسكو إيلاستية (viscoelastic theory) لم تزل بعد قاصرة عن وصف السلوك الميكانيكي الكامل للخشب. والواقع أن هذا لايزال قائمًا بصورة كبيرة إذ إن فروض نظرية اللزونة السابقة تركز على التحميل بمستويات أقل من نقطة حد

المرونة، أو حد التناسب بدرجة كبيرة كما أنها تعجز عن تقديم شرح رياضي لظاهرة الانهيار في الأخشاب، وهي بهذا تفسر الجزء الأول من منحنى الجهد والانفعال في الأخشـاب، وتعجـز عن شرح بقية المنحنى. وكما سيذكر فيما بعد فإن هناك عوامل عديدة تدخل في التأثير على السلوك الميكانيكي للأخشاب ورهيولوجيتها ومازال العديد من العلماء يقـدمـون نظريات في هذا المجـال إذ إن التركيب التشريحي والتباين فيه والكثافة واختلافها وأساسًا التركيب الكيميائي للنسيج الخشبي وعلاقة هذا بالظروف المحيطة بالأخشـاب مثـل الـرطـوبة والحرارة يؤدي في النهاية إلى السلوك الميكانيكي للأخشاب الذي يعرفه العلماء جيدًا من الناحية التطبيقية المعملية، وإن كان مايزال هناك الكثير الذي يمكن أن يقدم لتفسير هذا السلوك من الناحية النظرية والرياضية.

العوامل المؤثرة على السلوك الميكانيكي للأخشاب

Factors Affecting Mechanical Behaviours

الكثافة وعلاقتها بالخواص الميكانيكية

إن السلوك الميكانيكي للأخشاب ماهو إلا عبارة عن ناتج تأثيرات عوامل داخلية في الخشب فالتركيب التشريحي والكيميائي معًا لهما تأثير مباشر على كتلة الجدار الخلوي المتكونة في وحدة الحجوم بالساق أي على الكثافة، والكثافة بدورها مؤثر رئيس على الخواص الميكانيكية كافة للأخشاب. وهناك علاقة بين الكثافة والمتانة كمايلي:

المعادلة (٧ـ١٥).. $S = aG^n$

حيث S = صفة المتانة

a = ثابــت

G = الثقل النوعي

n = أس يتغير حسب صفة المتانة

والأس (n) تتراوح قيمته ما بين ٢٥ إلى ٢٫٢٥ حسب قيمة المتانة، وهناك جداول لهذا منشورة من معمل منتجات الغابات في ماديسون بأمريكا (Kandeel and Beusend, 1969; (Wood Handbook, 1974).

العوامل النموية وتأثيرها على السلوك الميكانيكي

وهذه تؤثر في انتظام الألياف والحلقات النموية حيث إن ثوابت المرونة تختلف كلما كان اتجاه الألياف منحرفًا عن اتجاهها الرأسي مع محور الشجرة وخواص المتانة في اتجاهات تتباين عن الاتجاه الموازي أو العمودي للألياف يمكن تقديرها بالمعادلة المشهورة باسم Hankinson وفيها

$$N = \frac{PQ}{P \, Sin^{n} \theta + Q \, Cos^{n} \theta}$$ المعادلة (٧-١٦) . .

حيث N = هي صفة المتانة في خط ينحرف بزاوية مقدارها θ عن اتجاه الألياف، و P = هي صفة المتانة في الاتجاه الموازي للألياف و n = ثابت يقدر معلميًا، Q = هي صفة المتانة في الاتجاه العمودي على الألياف.

والواقع أن معادلة Hankinson يمكن التعبير عنها تخطيطيًا برسوم بيانية للاستدلال على القيم من جداول بيانية موضوعة. كذلك نلاحظ أن خشب رد الفعل بنوعية (الفصل الرابع) له تأثير كما أورد من قبل على صفات المتانة.

ونسبة الخشب المتأخر في الخشب وخشب القلب أو خشب العصارة في الكمرة الخشبية كل هذا يؤثر على صفات المتانة في الأخشاب (الفصل الأول) كذلك فمن المعروف أن الانهيارات الانضغاطية وإجهادات النمو والعقد الخشبية بأنواعها وجيوب القلف والراتنج (الفصل الرابع) تؤثر مباشرة على السلوك الميكانيكي للأخشاب، ويلاحظ أن الحصول على الخشب من أشجار حية أو أشجار تكون قد ظلت واقفة في موقعها فترة طويلة عقب موتها فسيولوجيًا يعطي الشيء نفسه، بمعنى أن الخشب المستخرج في الحالتين له الجودة نفسها، وقد أجريت أبحاث في معمل منتجات الغابات الأمريكي على عدد من الأشجار التي تركت في موقعها ميتة لمدة خمسة عشر عامًا، ولوحظ أن سلوك أخشابها الميكانيكي لم يختلف عن الأشجار التي كانت حية قبل إسقاطها. هذا والمحاذير التي تراعى في حالة الأشجار التي تسقط بعد موتها بفترة هو

مراعاة عدم إصابتها بأي إصابة فطرية تؤدي إلى تدهور أخشابها وتحللها (Wood Hand-book, 1974) .

المحتوى الرطوبي وتأثيره على السلوك الميكانيكي

يؤثر المحتوى الرطوبي بدرجة كبيرة على الخواص الميكانيكية خاصة تحت نقطة تشبع الألياف، ويلاحظ أن معظم الخواص الميكانيكية للأخشاب تنخفض مع ارتفاع المحتوى الرطوبي، كما أن العلاقة بين السلوك الميكانيكي والمحتوى الرطوبي تشرحه بسهولة العلاقة الرياضية التالية:

المعادلة (٧ـ١٧) . .
$$P = P_{(12)} \left(\frac{P_{(12)}}{P_g}\right)^{-\left(\frac{M-12}{M_P-12}\right)}$$

حيث P صفة المتانة، M المحتوى الرطوبي الفعلي، M_p هو محتوى الرطوبة الذي يلحظ عنده تغير الصفة بعد التجفيف (أقل من نقطة تشبع الألياف) (Fisher, 1953) وهي تختلف في الأجناس، ففي البلوط الأبيض تبلغ ٢٤٪ في السبروس الأحمر والبيرش الأصفر، و$P_{(12)}$ هي الصفة الميكانيكية مقدرة عند ١٢٪ رطوبة في حين أن P_g هي قيمة الصفة الميكانيكية مقدرة عند المحتوى الرطوبي الأخضر، ويلاحظ أن هذه المعادلة رقم (٧ـ١٧) لا ينصح باستعمالها لحساب الشغل حتى الحمل الأقصى أو الشد العمودي على الألياف، أو الأنحناء بالصدم (Dunlap *et al.*, 1947; Wood Handbook, 1974) .

درجة الحرارة وتأثيرها على السلوك الميكانيكي

إن درجة الحرارة تؤثر على الخواص الميكانيكية للأخشاب بالخفض تنخفض متانة الأخشاب مع ارتفاع الحرارة، وتزيد مع البرودة بصورة سريعة ومباشرة، وإن كان التعرض للحرارة المرتفعة فترات طويلة له تأثيره على المركبات الكيميائية للجدار الخلوي مما يخفض من المتانة، وعند ثبات الرطوبة فإن العلاقة بين المتانة ودرجة الحرارة علاقة استقامية حتى ١٠٠مْ، والتأثير بخفض الخواص الميكانيكية لا يكون دائمًا. ويلاحظ أن التأثير الدائم عند درجات الحرارة العالية بخفض المتانة يرجع إلى تكسير المركبات

الكيميائية للجدار الخلوي، وهذا يتوقف على المحتوى الرطوبي الموجود وظروف التعرض للحرارة. ومن أكثر الصفات الحساسة، الشغل حتى الحمل الأقصى الذي يتأثر بدرجة كبيرة بالحرارة العالية فينخفض على هذا معامل الكسر، كذلك يلاحظ أن التعرض للحرارة لفترة طويلة في ظرورف الحرارة العالية ذو تأثير تجميعي في خفض المتانة (Wood Handbook, 1974) .

الزمن وتأثيره على الخواص الميكانيكية

نلاحظ أن الأخشاب إذا حملت ثم أزيل الحمل ـ وكان التحميل تحت حد المرونة لحظيًا ـ فإن العينة الخشبية لا يظهر فيها تشكل واضح إلا أن تكرار التحميل تحت المرونة لعدة دورات يصاحبه تغير في منحنى الجهد والانفعال، وبالتالي فإنه يلاحظ ظهور انفعال ضئيل في العينة بتكرار دورات التحميل فترات أطول، كذلك فإن قطعة الخشب إذا حملت بحمل ثابت وترك هذا الحمل لفترة زمنية طويلة فإن هناك إنفعالاً يظهر كما سبق القول في الفصل السابق. وهذا الانفعال دالة لتأثير الزمن مع الحمل الثابت، وهذه الظاهرة هي ظاهرة الزحف (creep) التي ذكرت آنفًا، ومع إزالة الحمل الثابت وبمرور الوقت يحدث استرداد للزحف أو استرخاء، ويختفي الانفعال الذي ظهر من قبل إلا أن هذا الانفعال يبقى منه جزء ضئيل، وهذا هو تأثير زمن التحميل، أي أن زمن التحميل يظهر تأثيرة في حالتين:

١ ـ حالة دورات الإجهاد والتحميل تحت حد المرونة.

٢ ـ حالة التحميل الثابت لفترات طويلة من الوقت.

ونلاحظ أن تكرار التحميل لفترات كثيرة (أقل من حد التناسب) يؤدي في النهاية لظهور ظاهرة التعب (fatigue) وهي عبارة عن تشوه مستمر يتزايد عند تعرض الجسم لأحمال قد لا تحدث الانهيار بنفسها، ولكن تكرارها يؤدي إلى الانهيار، ويذكر مرجع معمل منتجات الغابات الأمريكية أن هذه الظاهرة يجب أخذها في الحسبان عند تصميم منشآت خشبية إذا كان هناك جهود متكررة لدورات أكثر من ١٠٠٠٠٠ دورة خلال فترة حياة المنشأ، وهنا يلاحظ عمر فترة التعب، أي عدد دورات التحميل،

ونسبـة الجهـد الأعلى إلى الجهد الأدنى، ونوعية التحميل سواء كان الشد موازيًا أم عموديًا، ومن هذا يمكن تقدير أعلى جهد سوف يتعرض له المنشأ (Wood Handbook, 1974) .

ولا يمكن إهمال تأثير التقادم كنوع من تأثيرات الزمن على السلوك الميكانيكي، وإن كان هذا العامل يحتاج إلى مدى كبير كي يظهر تأثيره.

الإشعاعات النووية وتأثيرها على السلوك الميكانيكي

جرعـات أشعة جاما العالية أو النيترونات يمكن أن تحدث تدهورًا إذا زادت عن ميجـاراد واحـد (Megarad) ويكـون هنـاك انخفـاض ملحـوظ يظهـر في قوة الشـد الموزاي وفي الصلابة، أما إذا وصلت الجرعة إلى ٣٠٠ ميجاراد (Megarad) فإن قوة الشد تنخفض بمقدار ٩٠٪، والإشعاعات النووية تؤثر على قوة الانسحاق القصـوى إلا أن تأثـيرهـا أقـل من ذلك الواضح في قوة الشد، فعند جرعة تشعيع بالجاما قدرها ٣٠٠ ميجاراد تنخفض قوة الانسحاق القصوى بمقدار ٣٠٪، وهناك دراســات عديدة في هذا المجـال على الأخشـاب المختلفـة في منـاطق العـالم كافـة (Wood Handbook, 1974 ، El-Osta, Kandeel, El-Lakany, El-Meligy El-Morshidy, 1985).

أساسيات الاختبارات غير المدمرة للأخشاب

Nondestructive Testing

تعتمد الاختبارات غير المدمرة للأخشاب على قياس السلوك الميكانيكي المتوقع لعنـاصر الإنشـاءات الخشبية كالكمرات والأعمدة بأحجامها الاستعمالية بطرق غير تدميرية تساعد على تقويم هذه الأخشاب وإعطائها نوعًا من التدريج بحسب الجهود التي تتحملهـا (stress grading) . وفي حالة الاختبارات غير المدمرة تستخدم آلات اختبار قادرة على بث موجات فوق صوتية، أو إحداث اهتزازات يتحصل منها على قيمة تدل على مرونة المادة الخشبية، وفي هذه الحالة يجب أن تحدد العلاقة ما بين معامل

المرونة ومعامل الكسر، ثم تستخدم للتنبؤ بأحمال الانهيار التي يمكن أن تتعرض لها الكمرة الخشبية. وقد درس Sunley (1965) العلاقة بين معامل المرونة ومعامل الكسر في المخروطيات كما درس Kandeel (1978) العلاقة نفسها بالنسبة لصالدات الأخشاب وأوجد علاقات استقامية لوصف العلاقات المذكورة بطرق إحصائية تمكن في النهاية من التنبؤ بقوة الثني المتوقعة داخل مدى من الاحتمال. وهنا نذكر أنه يجب أن نضحي بالدقة إذا أردنا توسيع مدى الاختبار، والطريقة العاملة للاختبارات غير المدمرة تعتمد على توجيه موجات فوق صوتية ناتجة من اهتزازات سواء أكان اهتزازًا انحنائيًا أم انضغاطيًا أو التوائيًا (torsional) . ويقاس في هذه الحالة التردد الطبيعي (resonant frequency) بالعينة نتيجة لذلك، وتحسب ثوابت المرونة. والطرق تعتمد بهذا الشكل على بث موجات داخل الخشب وتحليلها سواء كان ذلك بالاهتزاز الإجباري أم بغيره (بدران وعزت قنديل، ١٩٧٩م). هذا ويلاحظ أن مرور الموجات فوق الصوتية في الأخشاب يستخدم وسيلة لتدريج الأخشاب المنشورة، وأخشاب الألواح المركبة، كما تستخدم الطرق الصوتية لكشف العطب حيث إن التردد الاهتزازي الطبيعي للأعمدة الخشبية دالة لنسبة العفن الموجود بخشبها[1]، كما أن هناك طرقًا أخرى للاختبارات غير المدمرة تستعمل الجهد الطولي، حيث يبث في شكل موجات تحركها في الكمرة الخشبية دالة لكثافة هذه الكمرة والعيوب الداخلية فيها، وهذه الطريقة تمكن من قياس مرونة الأخشاب بقياس موجات الجهد المتولدة بالصدم (impact-induced stress waves) ، كذلك فإن هناك عديدًا من الطرق التي تعتمد على أخذ صور بأشعة إكس للأعمدة الخشبية أو الأشجار القائمة لكشف مقدار التحلل فيها، والواقع أن هذا المجال به الآن العديد من الأبحاث كلها تتركز حول كشف أو التنبؤ بالسلوك الميكانيكي للمنشأ الخشبي بصورته الاستعمالية بدون اللجوء لأخذ عينات تختبر بطرق تقليدية. ومن المعروف أن هناك طرقًا عديدة لتقدير الثوابت المؤثرة على السلوك الميكانيكي، مثل الكثافة، وطرق قياسها باستخدام أشعة البيتا حسب الطريقة التي أوردها Kandeel (1980) بدون تدمير العينات، ومن معرفة الكثافة يمكن التنبؤ بالسلوك الميكانيكي بصورة محددة.

الأساس الكيميائي للسلوك الميكانيكي للأخشاب
Chemical Bases of Mechanical Behaviour Wood

حيث إن السلوك الميكانيكي هو دالة للتركيب التشريحي للأخشاب فإن مصدر المتانة في الخشب هو الألياف بجدرها المكونة من طبقات وطبيقات (الفصل الثاني)، ونلاحظ أن الأساس الكيميائي للجدار الخلوي يتكون من ثلاث مجاميع من البلمرات العـالية، هي السليولـوز، واللجنين، والبوليوزس ـ، والأول هو المسؤول عن متانة الخشب بدرجة كبيرة فهو على درجة عالية من البلمرة، كما أن درجة بلورته المرتفعة تجعل له دورًا رئيسًا كهيكل بنائي للنسيج الخشبي. أما اللجنين ذلك المركب الفينولي الذي يربط الألياف بعضهـا ببعض فيعمـل كعامل مصلب لبقية التركيب البنائي للجدار الخلوي والبوليوزس دوره كمادة مالئة مصفوفة في الجدار يجعل له دورًا أيضًا في متانة الأخشاب (الفصل الثالث) والواقع أن المركبات الثلاثة تسهم بدرجات متفاوتة في متانة الخشب، وكل منها له دوره الرئيس الذي يلعبه في السلوك الميكانيكي، وعلاقة التركيب التشريحي والكيميائي بالمتانة يمكن تناولها على ثلاثة مستويات. هي المستوى الجزيئي، والمستـوى الخلوي، ومستـوى العين المجردة إلا أن الحديث عن السلوك الميكانيكي ورهيولـوجيا الأخشاب يتضمن تناول علاقة الجهد بالانفعال سواء قبل الوصول إلى نقطة حد التناسب أي المرونة أم فوق هذا الحد (Mark, 1967) .

السلوك الميكانيكي تحت حد المرونة

يلاحظ على المستــوى الجـزيئي أن الـروابط الهيدروجينية ما بين الســلاسـل البوليمرية وداخلها تتكسر وتنزلق بعضها عكس بعض، وإذا كانت ملتفة حول بعضها يحدث فك لهذا الالتفـاف وإعـادة تشكل، وفي هذه الحالة فإن التركيب البوليمري يمتص الطاقة بدون انهيارات واضحة. وعلى المستوى المجهري يلاحظ أن الروابط الهيدروجينية بين الميكروفبرلات الداخلية في طبقات الجدار الخلوي تتكسر، ثم يعاد تشكلهـا بالانـزلاق بجـوار بعضهـا، والتشكـل في هذا المستـوى يتضمن الـروابط الهيدروجينية بالإضافة إلى التشكل الذي يحدث في ترتيب طبقات الجدار الخلوي داخل طبقـات الجدار، وفي هذه الحالة تكون قوة البناء الفينولي بالجدار كافية، بحيث إن

الانهيار المبدئي يحدث فقط في الهيكل البنائي للكربوهيدرات، ويصاحب هذا أيضًا بدء انهيار يسير ما بين طبقات الجدار الخلوي في طبقات S_1 ، S_2 ، وبدء انهيار الروابط ما بين S_2 و S_1 مع بقاء S_3 و S_2 معًا التي تستمر متحملة للجهود أساسًا، وفي هذه الحالة يرجع سطح الانهيار الخشن إلى انفصال في بعض الروابط التعاونية داخل الكربوهيدرات إلا أنه في بعض الأحيان يحدث تنامٍ في الجهود الموجهة لهذه الطبيقات مما ينتج عنه انهيار مبدئي في الهيكل الفينولي للجدار، وهذا ما يعطي مظهرًا متشظيًا لسطح الانهيار فيما بعد عن حدوث الانهيار (Rowell, 1984) وعلى مستوى العين المجردة يلاحظ تشكل وتغير في أوضاع الخلايا معًا وإن كانت هذه التغيرات عند الجهود المنخفضة تسترد بمجرد إزالة القوى المحدثة للجهد حيث إن الخشب يكون مازال داخل مرونته (Rowell, 1984) .

السلوك الميكانيكي فوق حد المرونة

من الناحية الجزيئية فإن الوصول إلى هذا المستوى (فوق حد المرونة) يصاحبه تكسير في الروابط الهيدروجينية ما بين السلاسل البوليمرية وداخلها، وانزلاق شديد، وإعادة ترتيب مواقع هذه السلاسل بعضها ببعض، وتشكل واضح في روابط C-C, C-O الداخلة في التركيب الحلقي للسليولوز وتكسير في هذه الروابط لتنتج مركبات ذات وزن جزيئي منخفض ودرجة بلمرة أقل، وهذا النوع من التشوه الدائم الناتج عن الجهود فوق حد المرونة كذلك التكسير في روابط C-C ما بين اللجنين والكربوهيدرات، ويلاحظ أن التشكل في هذا المدى تشكل لدن وليس مرنًا، ويتميز هذا المستوى من الجهود العالية ببدء انهيار التركيب البللوري في السليولوز وبالتالي إنهيار الهيكل النسيجي في النسيج الخشب ويلاحظ أن البناء الفينولي لا ينهار أولاً حيث يبدأ ظهور تشققات في الجدار الخلوي وانهيارات في جدار S_2 الذي يصاحب انهيارات الميكروفبلات في طبقات الجدار وعند مستوى العين المجردة فإنه يظهر بوضوح التشوه التام في مواقع الخلايا بعضها بجوار بعض بصورة دائمة، وانفصالها إما عن طريق التمزق لتعطي سطحًا خشنًا للانهيار، وإما بانهيارات داخل طبقات الصفيحة الوسطى المركبة، حيث تنزلق خلية بجوار الأخرى، ويظهر شكل متشظٍ لسطح الانهيار مصاحب لهذه الظاهرة (Rowell 1984; Mark, 1967) .

التباين في السلوك الميكانيكي للأخشاب

Variation in Mechanical Behaviour of Wood

كما سبق في الحديث عن تكوين الأخشاب وتركيبها التشريحي في الفصلين الأول والثاني، والصفات الطبيعية في الفصل السادس. فإن السلوك الميكانيكي المعتمد بدرجة كبيرة على التركيب التشريحي والكثافة يتباين بناء على التباين المتوقع في التركيب التشريحي والكيميائي، ومن ثم الكتلة الخشبية في وحدة الحجوم المعبر عنها بكثافة الأخشاب. والواقع أن التباين في طول الألياف واضح (الفصل الثاني) داخل الجنس والنوع نفسهما بل داخل الساق الشجرية نفسها بالإضافة إلى اختلاف المخروطيات عن الصالدات في هذا كما وأن نسبة المكونات الخشبية تتباين بين الأجناس وداخل النوع الواحد أيضًا فنسبة الألياف مثلاً في المخروطيات تصل إلى ٩٣٪ بينما في الصالدات تتباين من ٢٥٪ إلى ٧٥٪ هذا والكثافة إيضًا تتفاوت وتتباين داخل السيقان الشجرية، وبالتالي فإن السلوك الميكانيكي يتباين بدرجة واضحة داخل السيقان وقد قدم بدران وعزت قنديل (١٩٧٩م) تلخيصًا وافيًا لهذا الموضوع، هذا والأساس العلمي يرجع إلى طبيعة تكوين الأخشاب في السيقان الشجرية، وهذه الطبيعة تختلف وراثيًا من جنس إلى آخر ومن نوع إلى آخر، ولها أنماط من التباين في كل حالة، وقد درست أنماط التباين (patterns of variation) في التركيب البنائي للحلقات النموية في السيقان. وتؤكد الدراسات أن نسبة كبيرة من التباين المتوقع في الصفات الطبيعية والميكانيكية يرجع إلى التباين داخل السيقان داخل النوع الواحد أكثر مما هو راجع للتباين بين السيقان بعضها مع بعض، وقد درست هذه الأنماط بواسطة Kandeel and Bensend, 1969, Richardson, 1961; Saucier and Hamilton, 1967; ويمكن أن يذكر ثلاثة أنماط للتباين في السيقان الشجرية للصفات الفيزيقية، أو السلوك الميكانيكي، وهي النمط المائل (oblique)، وهو يتتبع التغير داخل الساق موازيًا لاتجاه الحلقات السنوية من القمة إلى القاعدة، والعامل المؤثر فيه بالتأكيد هو تغير عمر الكامبيوم المكون لمناطق الخشب على طول الساق. أما النمط الثاني فهو الأفقي (horizontal)، وفيه يتغير عمر الكامبيوم المكون للخشب، وسنة النمو أيضًا. أما النمط الثالث فهو الرأسي (vertical)، ويتتبع فيه الأخشاب المكونة من كامبيوم ذي عمر واحد من قمة الشجرة إلى قاعدتها، والعامل

المؤثر فيه بوضوح هو سنة تكوين الخشب التي تختلف فيه بطول الساق رأسيًا. هذا وقد وضعت طرق رياضية حديثة لدراسة التباين يتتبع أنماطه داخل السيقان، وبين الأشجار، وقد وضع Kandeel في عام ١٩٧١م (Kandell, 1978) معادلات متعددة الحدود للتعبير عن أنماط التباين وطبيعتها بطريقة رياضية، ودراسة إمكانية التنبؤ بها إحصائيًا، وقد تناول الباحث المتغيرات المؤثرة في إحداث كل من أنماط التباين الثلاثة المعروفة داخل سيقان الأشجار والطريقة مهمة لتقويم التباين داخل الأشجار الذي يفوق بكثير التباين بين الأشجار في الصنف الواحد، ومما هو مؤكد من الدراسات الحديثة أنه من الصعب وضع نمط عام للتباين في السلوك الميكانيكي للصالدات أو المخروطيات بدون التضحية بالدقة العملية نظرًا لتفاوت طبيعة التباين بين الأجناس.

المراجــــع

المراجع العربية

بدران، عثمان عدلي وعزت قنديل، السيد ١٩٧٩. *أساسيات علوم الأشجار وتكنولوجيا الأخشاب*. دار المطبوعات الجديدة. جمهورية مصر العربية. (طبعة ثالثة معدلة).

المراجــع الاجنبيــة

Bazhenov, V.A. 1961. *Piezoelectric Properties of Wood.* Consultants Bureau. New York.

Brillie, H. 1919. Sound wave resistance in different media, Genie Civ. 75, pp. 171, 194 and 218.

Brown, H.P., Panshin A.J. and Forsaith, C. 1952. *Textbook of Wood Technology.* Vol. II. McGraw Hill. New York

Browning, B.L. 1963. *The Chemistry of Wood.* Interscience Publishers. New York. p. 689.

Choong, Ç.T. 1963. Movement of Moisture through a Softwood in the Hygroscopic Range. *For. Prod. J.*, 13, pp. 489-498.

Dunlap, M.E. and Bell, E.R. 1951. Electrical Moisture Meters for Wood. *U.S. Dept. of Agric. For. Prod. Lab. Rep. No. R 1660.* Madison. Wi. U.S.A.

Eberius, E. 1952. Wasserbestimmung Nach Karl Fischer in der Sprengstoffchem. *Angew. Chem.*, 64, p.195.

Elosta, M., Kandeel, S.A., El Miligy, A. El Lakany, H. and El Morshidy, M. 1985. Mathematical Description of the Change in Properties of Casuarina Wood upon Exposure to Gamma Radiation. *Wood and Fiber Sci.*, 17, No.1.

Fischer, K. 1953. Neues Verfahren zur MaBanalytischen Bestimmung des Wassergehalts von Flussigkeiten und Fasten Korpern. *Angew. Chem.*, 48, p. 394.

Hart, C.A. 1964. Principles of Moisture Movement in Wood. *For. prod. J.*, 14, pp. 207-214.

James, W.L. 1961. Internal Friction and Speed of Sound in Douglas Fir. *For. Prod. J.*, 11, pp. 382-390.

Kandeel, S.A. 1978. Moduli of Rupture and Elasticity Relationship in Few Tropical Hardwoods. *Wood Eng. Session, 32 Ann. Meeting of For. Prod. Res. Soc.* Atlanta. Ca. U.S.A.

Kandeel, S.A. and Bensend, D. 1969. Structure, density and shrinkage Variation within Silver Maple. *Wood Sci.*, Vol. 4, U.S.A.

Kollmann, F. 1936. Wege und Ergehnisse der Mechanisch-Technologischen Holzforschung. *Forstarch.*, 12 No. 1.

Kollmann F. and L. Malquist. 1955. Untersuch., uber das strahlung., trockn., *Holz Als Roh und Werkstoff* pp. 13-249.

Kollmann, F. and Kerch, H. 1960. Dynamische Messung der Clastischen. Holzeigenschaften und der Dampfung. *Holz als Roh-und Werkstoff.* 18: 41-51.

Kollmann, F. and Hockele, G. 1962. Kritischer Vergleich einiger Bestimmungsver faheru der Holzfeuch tigkeit. *Holz als Roh-und Werkstoff.* 20: 41-51.

Kollmann, F. and Cote, W.A. 1968. *Principles of Wood Science and Technology* - Springer Verlag. New York. p. 592.

Kubler, H. 1962. Schwinden und Quellen des Holz., derch., Kalte., Holz als Roh - und Werkstoff. 20:364-368.

Lin, R.T. 1965. A study on the Electrical condition in Wood. *For. Prod. J.*, 15 pp. 506-514.

Mark, R.E. 1967. *Cell Wall Mechanics of Tracheids,* Yale Univ. Press. U.S.A. p. 310.

Markwards, L.J. 1926. New Toughness is Aid in Wood Selection For. Prod. Wood Working Industies. *James town.*, Vol. 2. pp. 31-34.

MacLean, J.D. 1941. Conditioning; Heating, *piping and air conditioning.* 13:380.

Meyer, J.E. and Rees. L.W. 1926. Electrical Resistance of Wood with Special Reference to the Fiber Saturation Point. N.Y. State Univ., Stat., Col., Forestry Syracuse University Tech. Pub; 19.

Peck, E.C. 1928. *Am. Lumberman* (14): 52.

Rowell, R.M. 1984. The Chemistry of Wood Strength. In: Rwell, (Ed.) The Chemistry of Solid Wood pp. 211-257. Adv. Chem. Ser. No. 207.

Schriewind, A.P. 1962. Mechanical Behavior of Wood in the Light of Its Anatomic Structure. *In Proc. Conf. Mech. Behav. of Wood.* Univ. of California pp. 136-146.

Skaar, C. 1948. The Dielectrical Properties of Wood with Special Reference to Fiber Saturation Point. NnY.S. Coll. For. Syracuse Univ. Tech. Pub. No. 69.

Skarr, C. 1972. *Water in Wood.* Slyracuse University Press. pp. 218.

Smith, D.M. 1961. *Methods of Determining Specific Gravity of Wood Chips.* USDA. For. Prod. Lab. Madison, Wi. U.S.A.

Stamm, A. 1938. Calculations of Void Volume in Wood. *Ind. Chem.*, 30, p. 1281.

Stamm, A. 1964. *Wood and Cellulose Science.* Ronald Press. New York. p. 549.

Trendelenburg, R. 1939. *Das Holz als Rohstoff.* Textbok 1st ed. Munchen. J.F. Lehmann Verlag.

Weatherway, R.C. and Stamm. A.J. 1946. *The coefficients of Thermal Expansion of Wood and Wood Products.* US For. Prod. Lab. Rep. No. 1487, Madison, Wi. U.S.A.

Wood Handbook. 1974. *Wood as an Engineering Material.* US Dep. of Agric. For. Prod. Lab. Madison Wi. U.S.A.

Wangaard, F.F. 1950. *The Mechanical Properties of Wood.* J.Wiley. New York. p. 377.

Zimmerman, M. 1964. *The Formation of Wood in Forest Trees.* Ac. press. New York. p. 562.

الملحق الأول. الخواص الميكانيكية لبعض الأخشاب المستوردة (عن: 1974 ,.L "" Wood) .

الاسم الدارج واللاتيني للأنواع Common and bot names of species	المحتوى الرطوبي	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Andiroba (*Carapa guianensis*)	أخضر	٠,٥٦	١١,١٠٠	١,٥٦	١١,٤	٤,٩٣٠	١,٣٢٠	١,٠٦٠
	١٢	—	١٥,٦٠٠	١,٨٥	١٣,٤	٧,٩٠٠	١,٦٨٠	١,٢٢٠
Andiroba (*C. nicaraguensis*)	١٣	٠,٤٥	—	—	—	٦,٢٤٠	—	١,٢٤٠
Angelique (*Dicorynia guianensis*)	أخضر	٠,٦	١١,٤٠٠	١,٨٤	١٢	٥,٥٩٠	١,٣٤٠	١,١٠٠
	—	—	١٧,٤٠٠	٢,١٩	١٥,٢	٨,٧٧٠	١,٦٦٠	١,٢٩٠
Apamate (*Tabebuia rosea*)	أخضر	٠,٥١	١٠,٦٠٠	١,٤٧	١١,٢	٤,٩٣٠	١,٢٤٠	٨٩٠
	١٢	—	١٣,٨٠٠	١,٦	١٢,٥	٧,٣٤٠	١,٤٥٠	٩٦٠
Apitong (*Ditterocarpus* spp.)	أخضر	٠,٥٩	٩,٢٠٠	١,٧٩	—	٤,٤١٠	١,٠٤٠	٨٠٠
	١٢	—	١٦,٢٠٠	٢,٣٥	—	٨,٥٤٠	١,٦٩٠	١,٢٠٠
Avodire (*Turraeanthus africanus*)	١٢	٠,٥١	١٢,٧٠٠	١,٤٨	٩,٤	٧,١٨٠	٢,٠٤٠	١,٠٨٠
Balsa (*Ochroma pyramidale*)	١٢	٠,١٧	٢,٨٠٠	٠,٥٥	—	١,٧٠٠	٣٠٠	١٠٠
Banak (*Virola koschnyi*)	أخضر	٠,٤٤	٦,٢٠٠	١,٤٧	٥,٣	٣,٠٥٠	٦٦٠	٤٤٠
	١٢	—	١٠,٨٠٠	١,٧٢	٨,١	٥,٧٢٠	١,٣٠٠	٦٤٠
Banak (*V. surinamensis*)	أخضر	٠,٤٢	٥,٦٠٠	١,٦٤	٤,١	٢,٣٩٠	٧٢٠	٣٢٠
	١٢	—	١٠,٩٠٠	٢,٠٤	١٠,٠	٥,١٤٠	٩٨٠	٥١٠

تابع الملحق الأول.

الاسم الدارج واللاتيني للأنواع Common and [illegible] names of species	المحتوى الرطوبي	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	معامل المرونة	الشغل حتى الحمل الأقصى	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Capirona (*Calycophyllum c[illegible]*)	أخضر	٠,٦٧	١٤,٣٠٠	١,٩٣	١٨,٦	٦,٢٠٠	١,٦٦	١,٦٣٠
	١٢	—	٢٢,٣٠٠	٢,٢٧	٢٧,٠	٩,٦٧٠	٢,١٢	١,٩٤٠
Capirona (*C. spruceanum*)	١٤	٠,٨٥	—	—	—	٩,٢٨٠	—	٢,٥٥٠
Cativo (*Prioria copaifera*)	أخضر	٠,٤	٥,٩٠٠	٠,٩٥	٥,٤	٢,٥٩٠	,٨٦٠	٤٥٠
	١٢	—	٨,٧٠٠	١,١٥	٧,٢	٤,٤٩٠	١,٠٤	٦١٠
Courbaril (*Hymenaea courbaril*)	أخضر	٠,٧٢	١٢,٩٠٠	١,٨٢	١٥,٧	٥,٨٠	١,٧٧	٢,٠٣٠
	١٢	—	١٩,٤٠٠	٢,١٧	١٧,٦	٩,٦٨٠	٢,٤٧	٢,٤٤٠
Gola (*Tetraberlinia tubmaniana*)	١٤	٠,٦٦	١٦,٧٠٠	٢,٢١	—	٩,٠١٠	—	—
Goncalo alves (*Astronium graveolens*)	أخضر	٠,٨٦	١٢.٤٠٠	١,٩	٧,٤	٦,٨٨٠	١,٨٤	١,٩٩٠
	١٢	—	١٧,١٠٠	٢,١٧	١٠,٤	١٠,٥٦٠	٢,٠٦	٢,٢٣٠
Greenheart (*Ocotea rodiaei*)	أخضر	٠,٨٣٠	١٩,٤٠٠	٢,٩٨	١٣,٠	١٠,٣٦٠	١,٤٨	٢,١٩٠
	١٤	٠,٩٣	٢٥,٥٠٠	٣,٧	٢٢	١٣,٠٤٠	١,٨٣	٢,٦٣٠
Ilomba (*Pycnanthus angolensis*)	١٢	٠,٤٤	٨,٩٠٠	١,٧٥	—	١,٥١٠	—	٧٥٠
Lapacho (*T. serratifolia*)	أخضر	٠,٩٢	٢٢,٨٠٠	٣,٠٦	٢٥,٦	١٠,٦٦٠	٢,٠٥٠	٢,٩٧٠
	١٢	—	٢٦,٣٠٠	٣,٣١	٢٣	١٣,٤٢٠	٢,٠٧٠	٣,٦٧٠

تابع الملحق الأول.

الاسم الدارج واللاتيني للأنواع Common and [illegible] names of species	المحتوى الرطوبي	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Lauan: Dark red:	أخضر	٠,٤٤	٧,٧٠٠	١,٣٨	—	٣,٧٠٠	٩٣٠	٥٧٠
Red lauan (*Shorea negrosensis*)	١٢	—	١١,٣٠٠	١,٦٣	—	٥,٨٩٠	١,٢٢٠	٦٨٠
Tanguile (*S. polysperma*)	أخضر	٠,٤٦	٨,٣٠٠	١,٥٤	—	٣,٩٤٠	٩٤٠	٦٢٠
	١٢	—	١٢,٩٠٠	١,٨١	—	٦,٥٨٠	١,٢٩٠	٧٧٠
Light red:	أخضر	٠,٤١	٧,٥٠٠	١,٤٤	—	٣,٧٥٠	٨٤٠	٥٠٠
Almon (*S. almon*)	١٢	٠,٤٤	١١,٣٠٠	١,٦٧	—	٥,٧٥٠	١,٠٩٠	٥٩٠
Bagtikan (*Parashorea plicata*)	أخضر	٠,٤٨	٨,٨٠٠	١,٤٧	—	٤,٣٦٠	٩٠	٧٠٠
	١٢	—	١٢,٦٠٠	١,٧٣	—	٦,٨٥٠	١,٣١٠	٨١٠
Mayapis (*Shorea squamata*)	أخضر	٠,٤١	٧,٣٠٠	١,٤	—	٣,٤٧٠	,٧٧٠	٤٨٠
	١٢	—	١١,١٠٠	١,٦٦	—	٥,٦٢٠	١,٠٩٠	٥٩٠
White lauan (*Pentacme contorta*)	أخضر	٠,٤٣	٧,٥٠٠	١,٣٨	—	٣,٧٠٠	٩١٠	٥٨٠
	١٢	—	١١,٧٠٠	١,٦٩	—	٦,٠٧٠	١,٢٠٠	٧٠٠
Laurel (*Cordia alliodora*)	أخضر	٠,٤٤	٨,٨٠٠	١,٢٦	—	٤,٠٠٠	١,١٣٠	٧٩٠
	١٢	—	١٢,١٠٠	١,٤٩	—	٦,٢٨٠	١,٢٢٠	٧٩٠
Jarrah (*Eucalyptus ma*[illegible])	أخضر	٠,٦٧	٩,٩٠٠	١,٤٨	—	٥,١٩٠	١,٣٢٥	١,٢٨٥
	١٢	—	١٦,٢٠٠	١,٨٨	—	٨,٨٧٠	٢,١٨٥	١,٩١٥

تابع الملحق الأول.

الاسم الدارج واللاتيني للأنواع Common and [illegible] names of species	المحتوى الرطوبي	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Jelutong (*Dyera cos[illegible]*)	أخضر	٠,٣٦	٥,٦٠٠	١,١٦	٥,٦	٣,٠٣٠	٠,٧٦٠	٠,٣٣٠
	١٦	٠,٣٨	٧,٣٠٠	١,١٨	٦,٤	٣,٩٢٠	٠,٨٤٠	٠,٣٩٠
Kapur (*Dryobalanops lanceolata*)	أخضر	٠,٦٤	١٢,٢٠٠	١,٧	١٢,٨	٥,٩٧٠	١,٠٤	٠,٩٨٠
	١٢	—	١٧,٤٠٠	٢,٠٢	١٥,٥	٩,٧٠٠	١,٧١	١,٣٦٠
Karri (*Eucalyptus diversicolor*)	أخضر	٠,٧	١٠,٦٠٠	٢,٠٧	—	٢٥,٥٠٠	١,٣٤	١,٣٦٠
	١٢	—	١٩,٢٠٠	٢,٧٦	—	١٠,٤٠٠	٢,١٤	٢,٠٣٠
Kerving (*Dipterocarpus* spp).	أخضر	٠,٦٧	١١,٩٠٠	٢,٤٤	٩,٢	٦,٢٣	١,١٦	١,١١٠
	١٦	٠,٦٩	١٤,٥٠٠	٢,٦٣	١٣,٣	٨,٠٠	١,٣٦	١,١٦٠
Kahaya (*Khaya [illegible]*)	أخضر	٠,٤٧	٧,٨٠٠	١,١٨	٩,٢	٣,٧٧٠	١,٠٩٠	٧٣٠
	١٢	—	١١,٥٠٠	١,٤١	٩,٨	٦,٣٠٠	١,٧٠٠	٩٠٠
Khaya (*Khaya ivorensis*)	أخضر	٠,٤٣	٧,٤٠٠	١,١٦	٨,٣	٣,٥٠٠	٩٣٠	٦٤٠
	١٢	—	١٠,٧٠٠	١,٣٩٠	٨,٣	٦,٤٦٠	١,٥٠	٨٣٠
Kokrodua (*Pericopsis elata*)	أخضر	٠,٦٦	١٤,٨٠٠	١,٧٧	١٩,٥	٧,٤٩٠	١,٦٧٠	١,٦٠٠
	١٢	—	١٨,٤٠٠	١,٩٤	١٨,٥	٩,٩٤٠	٢,٠٩٠	١,٥٦٠
Lapacho (*Tabebuia heterotricha*)	أخضر	٠,٨	٢٠,١٠٠	٢,١٢	٢٧,٣	٧,٦٨٠	٢,١٤٠	٢,٥٣٠
	١٢	—	٢٢,٦٠٠	٢,٣٢	٢٦,٠	١٠,٩٣٠	٢,٢٨٠	٣,٠١٠

تابع الملحق الأول.

الاسم الدارج واللاتيني للأنواع Common and botanical names of species	المحتوى الرطوبي	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Lignumvitae *(Guaiacum sanctum)*	١٢	١,٠٩	—	—	—	١١,٤٠٠	—	٤,٥٠٠
Limba *(Terminalia superba)*	١٢	٠,٤٩	١١,٥٠٠	١,٦٤	—	٥,٢٩٠	١,٠١٠	٦٨٠
Lupuna *(Ceiba samauma)*	١٣	٠,٥٤	—	—	—	—	—	٧٤٠
Mahohany *(Swietenia macrophylla)*	أخضر	٠,٤٥	٩,٣٠٠	١,٢٨	٩,٦	٤,٥١٠	١,٣١٠	٧٠٠
	١٢	—	١١,٦٠٠	١,٥١	٧,٩	٦,٦٣٠	١,٢٩٠	٨١٠
Meranti, red *(Shorea dasphylla)*	أخضر	٠,٤٣	٨,٦٠٠	١,٥	٨,٨	٤,٤٥٠	—	٥٦٠
	١٢	—	١٢,١٠٠	١,٦٣	١١,٧	٦,٩٧٠	—	٦٣٠
Oak *(Quercus costaricensis)*	١٢	٠,٦٨	١٧,٦٠٠	٢,٦٤	١٦,٨	—	—	١,٥٧٠
Oak *(Q. eugentiaefolia)*	١٢	٠,٧٥	١٤,٦٠٠	٢,٨٤	١٤,١	—	—	٢,١٧٠
Obeche *(Triplochiton scleroxylon)*	أخضر	٠,٣٣	٥,١٠٠	٠,٧١	٦,٢	٢,٥٦٠	٦٧٠	٤٢٠
	١٢	—	٧,٥٠٠	٠,٨٦	٦,٩	٣,٩٣٠	٩٩٠	٤٣٠
Okoume *(Aucoumea klaineana)*	١٢	٠,٣٧	٧,٣٠٠	١,١٤	—	٣,٩٠	—	٣٨٠
Palosapis *(Anisoptera spp.)*	أخضر	٠,٥١	٧,٥٠٠	١,٤٣	—	٣,٧٨٠	١,٠	٨١٠
	١٢	—	١٢,٨٠٠	١,٨٢	—	٦,٦٣٠	١,٤١٠	٩٢٠
Parana pine *(Araucaria angustifolia)*	أخضر	٠,٤٦	٧,١٠٠	١,٣٥	٩,٨	٤,٠٠٠	٩٧٠	٥٦٠
	١٢	—	١٣,٥٠٠	١,٦٢	١٢,٢	٧,٦٥٠	١,٧٣٠	٧٨٠

تابع الملحق الأول.

الاسم الدارج واللاتيني للأنواع Common and b... names of species	المحتوى الرطوبي	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي الشغل حتى الحمل الأقصى	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Pau marfim (*Balfourodendron* ...)	أخضر	٠,٧٣	١٤,٤٠٠	—	—	٦,١٠٠	١,٨٩٠	١,٥٣٠
	١٢	—	١٨,٩٠٠	—	—	٨,٢٠٠	—	—
Peroba de campos (*Paratecoma peroba*)	١٢	٠,٧٥	١٥,٤٠٠	١,٧٦	١٠,٢	٨,٩٢٠	٢,١٤٠	١,٦٠٠
Pine, Caribbean (*Pinus caribaea*)	أخضر	٠,٦٨	١٠,٠٠٠	١,٦٩	١٢	٤,٧٨٠	١,٢٠٠	٨٢٠
	١٢	—	١٥,٢٠٠	٢,٠٣	١٥,٣	٨,٠٠٠	١,٨٧٠	١,١٥٠
Pine, ocote (*P. occarpta*)	أخضر	٠,٥٥	٨,٠٠٠	١,٧٤	٦,٩	٣,٦٩٠	١,٠٤٠	٥٨٠
	١٢	—	١٤,٩٠٠	٢,٢٥	١٠,٩	٧,٦٨٠	١,٧٢٠	٩١٠
Primavera (*Cybistax donnell-smithii*)	أخضر	٠,٣٩	٧,٧٠٠	٠,٩٨	٦,٩	٣,٦٣٠	١,٠٥٠	٦٦٠
	١٢	—	١٠,٩٠٠	١,٢٢	١٠,٣	٦,١٤٠	١,٧١٠	٧٠٠
Ramin (*Gonystylus bancanus*)	أخضر	٠,٥٩	٩,٨٠٠	١,٥٧	٩,٠	٥,٣٩٥	٩٩٤	٦٤٠
	١٢	—	١٨,٤٠٠	٢,١٧	١٧,٠	١٠,٠٨٠	١,٥١٤	١,٣٠٠
Rosewood, Indian (*Dalbergia latifolia*)	أخضر	٠,٧٥	٩,٢٠٠	١,١٩	١١,٦	٤,٥٣٠	١,٤٠٠	١,٢٧٠
	١٢	—	١٦,٩٠٠	١,٧٨	١٣,١	٩,٢٢٠	٢,٠٩٠	٢,٦٣٠
Sande (*Brosimum utile*)	١٢	٠,٤٤	—	—	—	٦,٣١٠	—	٥٠٠
Santa Maria (*Calophyllum brasiliense*)	أخضر	٠,٥٤	١٠,٥٠٠	١,٥٧	١٠,٦	٥,١٦٠	١,٢٩٠	١,٠١٠
	١٢	—	١٤,٨٠٠	١,٨٢	١٣,٢	٨,٠٦٠	١,٩١٠	١,٢١٠

تابع الملحق الأول.

الاسم الدارج واللاتيني للأنواع Common and '.. ' names of species	المحتوى الرطوبي	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي معامل الكسر	معامل المرونة	الشغل حتى الحمل الأقصى	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
	أخضر	٠,٦	١٠,٢٠٠	١,٤٩	١٠,٥	٥,٠١١	١,٢٥٠	١,٠٢٠
Saele (*En'.. .l ophragma cyl..dricum*)	١٢	—	١٥,٣٠٠	١,٨٢	١٥,٧	٨,١٦٠	٢,٢٨٨	١,٥١٠
	أخضر	٠,٣٨	٦,٧٠٠	١,١٧	٧,٤	٣,١٠٠	٧٩٠	٤٥٠
Spanish-cedar (*Cedrela angustifolia*)	١٢	—	١١,٥٠٠	١,٤٢	١٢,٥	٦,٠١٠	١,٢٠٠	٥٧٠
	أخضر	٠,٤١	٧,٥٠٠	١,٣١	٧,١	٣,٣٧٠	٩٠٠	٥٥٠
Spanish-cedar (*C. oaxacensis*)	١٢	—	١١,٥٠٠	١,٤٤	٩,٤	٦,٢١٠	١,١٠٠	٦٠٠
(Nicaragua)	أخضر	٠,٣٤	٥,٢٠٠	٠,٨٧	٧,٤	٢,٧٦٠	,٧٢٠	٣٥٠
Spanish-cedar (*C. odorata*) (C ')	أخضر	٠,٤٣	٩,٥٠٠	١,٤٨	—	—	—	٦٢٠
(Nicaragua)	١٢	٠,٣٦	٧,٩٠٠	١,٠١	٥,٦	٤,٤٥٠	—	٥٠٠
	أخضر	٠,٥٧	١١,٠٠	١,٥١	١٠,٨	٥,٤٧٠	١,٢٩٠	١,٠٧٠
Teak (*Tectona grandis*)	١٢	٠,٦٢	١٣,٣٠٠	١,٣٩	١٠,٣	٦,٧٧٠	١,٦٠	١,١١٠
	١٢	٠,٦٣	١٢,٨٠٠	١,٥٩	١٠,١	٧,١١٠	١,٤٨٠	١,٠٣

الملحق الثاني. الخواص الميكانيكية لبعض الأخشاب المهمة النامية في الولايات المتحدة. (عن: 1974 ، " " "Wood")

أولاً: أخشاب الصالدات

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Alder, red	٠,٣٧	٦,٥٠٠	١,١٧	٨	٢٢	٢,٩٦٠	٢٥٠	٧٧٠	٣٩٠	٤٤٠
	٠,٤١	٩,٨٠٠	١,٣٨	٨,٤	٢٠	٥,٨٢٠	٤٤٠	١,٠٨٠	٤٢٠	٥٩٠
Ash:	٠,٤٥	٦,٠٠٠	١,٠٤	١٢,١	٣٣	٢,٣٠	٣٥٠	٨٦٠	٤٩٠	٥٢٠
Black	٠,٤٩	١٢,٦٠٠	١,٠٦	١٤,٩	٣٥	٥,٩٧٠	٧٦٠	١,٥٧٠	٧٠٠	٨٥٠
Blue	٠,٥٣	٩,٦٠٠	١,٢٤	١٤,٧	—	٤,١٨٠	٨١٠	١,٥٤٠	—	—
	٠,٥٨	١٣,٨٠٠	١,٤	١٤,٤	—	٦,٩٨٠	١,٤٢	٢,٠٣٠	—	—
Green	٠,٥٣	٩,٥٠٠	١,٤	١١,٨	٣٥	٤,٢٠	٧٣٠	١,٢٦٠	٥٩٠	٨٧٠
	٠,٥٦	١٤,١٠٠	١,٦٦	١٣,٤	٣٢	٧,٠٨٠	١,٣١٠	١,٩١٠	٧٠٠	١,٢٠٠
Oregon	٠,٥٠	٧,٦٠٠	١,١٣	١٢,٢	٣٩	٣,٥١٠	٥٣٠	١,١٩٠	٥٩٠	٧٩٠
	٠,٥٥	١٢,٧٠٠	١,٣٦	١٤,٤	٣٣	٠,٠٤٠	١,٢٥٠	١,٧٩٠	٧٢٠	١,١٦٠
White	٠,٥٥	٩,٦٠٠	١,٤٤	١٦,٦	٣٨	٣,٩٩٠	٦٧٠	١,٣٨٠	٥٩٠	٩٦٠
	٠,٦٠	١٥,٤٠٠	١,٧٤	١٧,٦	٤٣	٧,٤١٠	١,١٦٠	١,٩٥٠	٩٤٠	٣٢٠
Aspen:	٠,٣٦	٥,٤٠٠	١,١٢	٥,٧	—	٢,٥٠	٢١٠	٧٣٠	—	—
Bigtooth	٠,٣٩	٩,١٠٠	١,٤٣	٧,٧	—	٥,٣٠	٤٥٠	١,٠٨٠	—	—

* الرقم الأعلى عند محتوى رطوبي أخضر والأسفل عند ١٢٪ تقريبًا.

تابع الملحق الثاني.

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهـد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Quaking	٠,٣٥	٥,١٠٠	٠,٨٦	٦,٤	٢٢	٢,١٤٠	١٨٠	٦٦٠	٢٣٠	٣٠٠
	٠,٣٨	٨,٤٠٠	١,١٨	٧,٦	٢١	٤,٢٥٠	٣٧٠	٨٥٠	٢٦٠	٣٥٠
Basswood, American	٠,٣٢	٥٠٠٠	١,٠٤	٥,٣	١٦	٢,٢٢٠	١٧٠	٦٠٠	٢٨٠	٢٥٠
	٠,٣٧	٨,٧٠٠	١,٤٦	٧,٢	١٦	٤,٧٣٠	٣٧٠	٩٩٠	٣٥٠	٤١٠
Beech, American	٠,٥٦	٨,٦٠٠	١,٣٨	١١,٩	٤٣	٣,٥٥٠	٥٤٠	١,٢٩٠	٧٢٠	٨٥٠
	٠,٦٤	١٤,٩٠٠	١,٧٢	١٥,١	٤١	٧,٣٠	١,٠١	٢,٠١٠	١,٠١٠	١,٣٠
Birch:	٠,٤٨	٦,٤٠٠	١,١٧	١٦,٢	٤٩	٢,٣٦٠	٢٧٠	٨٤٠	٣٨٠	٥٦٠
Paper	٠,٥٥	١٢,٣٠٠	١,٥٩	١٦	٣٤	٥,٦٩٠	٦٠٠	١,٢١٠	—	٥,١٠
Sweet	٠,٦٠	٩,٤٠٠	١,٦٥	١٥,٧	٤٨	٣,٧٤٠	٤٧	١,٢٤٠	٤٣٠	٩٧٠
	٠,٦٥	١٦,٩٠٠	٢,١٧	١٨	٤٧	٨,٥٤٠	١,٠٨	٢,٢٤٠	٩٥٠	١,٤٧
Yellow	٠,٥٥	٨,٣٠٠	١,٥	١٦,١	٤٨	٣,٣٨٠	٤٣٠	١,١١٠	٤٣٠	٧٨٠
	٠,٦٢	١٦,٦٠٠	٢,٠١	٢٠,٨	٥٥	٨,١٧٠	٩٧	١,٨٨٠	٩٢٠	١,٢٦
Butternut	٠,٣٦	٥,٤٠٠	٠,٩٧	٨,٢	٢٤	٢,٤٢٠	٢٢٠	٧٦٠	٤٣٠	٣٩٠
	٠,٣٨	٨,١٠٠	١,١٨	٨,٢	٢٤	٥,١١٠	٤,٦٠	١,١٧٠	٤٤٠	٤٩٠

تابع الملحق الثاني .

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهــد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة ـ الحمل العمودي على الألياف
Cherry, Black	٠,٤٧	٨,٠٠٠	١,٣١	١٢,٨	٣٣	٣,٥٤٠	٣٦٠	١,١٣٠	٥٧٠	٦٦٠
	٠,٥٠	١٢,٣٠٠	١,٤٩	١١,٤	٢٩	٧,١١٠	٦٩٠	١,٧٠٠	٥٦٠	٩٥٠
Chestnut, American	٠,٤	٥,٦٠٠	٠,٩٣	٧	٢٤	٢,٤٧٠	٣١٠	٨٠٠	٤٤٠	٤٢٠
	٠,٤٣	٨,٦٠٠	١,٢٣	٦,٥	١٩	٥,٣٢٠	٦٢٠	١,٠٨٠	٤٦٠	٥٤٠
Cottonwood·	٠,٣١	٣,٦٠٠	٠,٧٥	٤,٢	—	١,٦٩٠	١٤٠	٥٠٠	—	—
Balsam poplar:	٠,٣٤	٦,٨٠٠	١,١	٥	٢٠	٤,٠٢٠	٣٠٠	٧٩٠	—	—
Black	٠,٣١	٤,٩٠٠	١,٠٨	٥	٢٠	٢,٢٠٠	١٦٠	٦١٠	٢٧٠	٢٥٠
	٠,٣٥	٨,٥٠٠	١,٢٧	٦,٧	٢٢	٤,٥٠٠	٣٠٠	١,٠٤٠	٣٣٠	٣٥٠
Eastern	٠,٣٧	٥,٣٠٠	١,٠١	٧,٣	٢١	٢,٢٨٠	٢٠٠	٦٨٠	٤١٠	٣٤٠
	٠,٤	٨,٥٠٠	١,٣٧	٧,٤	٢٠	٤,٩١٠	٣٨٠	٩٣٠	٥٨٠	٤٣٠
Elm:	٠,٤٦	٧,٢٠٠	١,١١	١١,٨	٣٨	٢,٩١٠	٣٦٠	١,٠٠٠	٥٩٠	٦٢٠
American	٠,٥	١١,٨٠٠	١,٣٤	١٣	٣٩	٥,٥٢٠	٦٩٠	١,٥١٠	٦٦٠	٨٣٠
Rock	٠,٥٧	٩,٥٠٠	١,١٩	١٩,٨	٥٤	٣,٧٨٠	٦١٠	١,٢٧٠	—	٩٤٠
	٠,٦٣	١٤,٨٠٠	١,٥٤	١٩,٢	٥٦	٧,٠٥٠	١,٢٣٠	١,٩٢٠	—	١,٣٢

تابع الملحق الثاني . الخواص الميكانيكية لبعض الأخشاب المهمة النامية في الولايات المتحدة . (عن : Wood Handbook, 1974)

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Slippery	٠,٤٨	٨,٠٠٠	١,٢٣	١٥,٤	٤٧	٣,٣٢٠	٤٢٠	١,١١٠	٦٤٠	٦٦٠
	٠,٥٣	١٣,٠٠٠	١,٤٩	١٦,٩	٤٥	٦,٣٦٠	٨٢٠	١,٦٣٠	٥٣٠	٨٦٠
Slippery	٠,٤٩	٦,٥٠٠	٠,٩٥	١٤,٥	٤٨	٢,٦٥٠	٤٠٠	١,٠٧٠	٦٣٠	٧٠٠
	٠,٥٣	١١,٠٠٠	١,١٩	١٢,٨	٤٣	٥,٤٤٠	٨٩٠	١,٥٩٠	٥٨٠	٨٨٠
Hickory, pecan:	٠,٦	١٠,٣٠٠	١,٤	٢٠,٠	٦٦	٤,٥٧٠	٨٠٠	١,٢٤٠	—	—
Bitternut	٠,٦٦	١٧,١٠٠	١,٧٩	١٨,٢	٦٦	٩,٠٤٠	١,٦٨٠	—	—	—
Nutmeg	٠,٥٦	٩,١٠٠	١,٢٩	٢٢,٨	٥٤	٣,٩٨٠	٧٦٠	١,٠٣٠	—	—
	٠,٦٠	١٦,٦٠٠	١,٧	٢٥,١	—	٦,٩١٠	١,٥٧٠	—	—	—
Pecan	٠,٦	٩,٨٠٠	١,٣٧	١٤,٦	٥٣	٣,٩٩٠	٧٨٠	١,٤٨٠	٦٨٠	١,٣١٠
	٠,٦٦	١٣,٦٠٠	١,٧٣	١٣,٨	٤٤	٧,٨٥٠	١,٧٢٠	٢,٠٨٠	—	١,٨٢٠
Water	٠,٦١	١٠,٧٠٠	١,٥٦	١٨,٨	٥٦	٤,٦٦٠	٨٨٠	١,٤٤٠	—	—
	٠,٦٢	١٧,٨٠٠	٢,٠٥	١٩,٣	٥٣	٨,٦٠٠	١,٥٥٠	—	—	—
Hickory, true:	٠,٦٤	١١,١٠٠	١,٥٧	٢٦,١	٨٨	٤,٤٨٠	٨١٠	٢٨٠	—	—
Mockernut	٠,٧٢	١٩,٢٠٠	٢,٢٢	٢٢,٦	٧٧	٨,٩٤٠	١,٧٣٠	١,٧٤٠	—	—

تابع الملحق الثاني.

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Pignut	٠,٦٦	١١,٧٠٠	١,٦٥	٣١,٧	٨٩	٤,٨١٠	٩٢٠	١,٣٧٠	—	—
	٠,٧٥	٢٠,١٠٠	٢,٢٦	٣٠,٤	٧٤	٩,١٩٠	١,٩٨٠	٢,١٥٠	—	—
Shagbark	٠,٦٤	١١,٠٠٠	١,٥٧	٢٣,٧	٧٤	٤,٥٨٠	٨٤٠	١,٥٢٠	—	—
	٠,٧٢	٢٠,٢٠٠	٢,١٦	٢٥,٨	٦٧	٩,٢١٠	١,٧٦٠	٢,٤٣٠	—	—
Saellbark	٠,٦٢	١٠,٥٠٠	١,٣٤	٢٩,٩	١٠٤	٣,٩٢	٨١٠	١,١٩٠	—	—
	٠,٦٩	١٨,١٠٠	١,٨٩	٢٣,٦	٨٨	٨,٠٠٠	١,٨٠٠	٢,١١٠	—	—
Honeylocust	٠,٦	١٠,٢٠٠	١,٢٩	١٢,٦	٤٧	٤,٤٢٠	١,١٥٠	١,٦٦٠	٩٣٠	١,٣٩٠
	—	١٤,٧٠٠	١,٦٣	١٣,٣	٤٧	٧,٥٠٠	١,٨٤٠	٢,٢٥٠	٩٠٠	١,٥٨٠
Locust, black	٠,٦٦	١٣,٨٠٠	١,٨٥	١٥,٤	٤٤	٦,٨٠٠	١,١٦٠	١,٧٦٠	٧٧٠	١,٥٧٠
	٠,٦٩	١٩,٤٠٠	٢,٠٥	١٨,٤	٥٧	١٠,١٨٠	١,٨٣٠	٢,٤٨٠	٦٤٠	١,٧٠٠
Magnolia:	٠,٤٤	٧,٤٠٠	١,٥٦	١٠,٠	٣٠	٣,١٤٠	٣٣٠	٩٩٠	٤٤٠	٥٢٠
Cucmbertree	٠,٤٨	١٢,٣٠٠	١,٨٢	١٢,٢	٣٥	٦,٣١٠	٥٧٠	١,٣٤٠	٦٦٠	٧٠٠
Southern	٠,٤٦	٦,٨٠٠	١,١١	١٥,٤	٥٤	٢,٧٠	٤٦٠	١,٠٤٠	٦١٠	٧٤٠
	٠,٥٠	١١,٢٠٠	١,٤	١٢,٨	٢٩	٥,٤٦٠	٨٦٠	١,٥٣٠	٧٤٠	١,٠٢٠

تابع الملحق الثاني .

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهـــد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Maple:	٠,٤٤	٧,٤٠٠	١,١	٨,٧	٢٣	٣,٢٤٠	٤٥٠	١,١١٠	٦٠٠	٦٢٠
Bigleaf	٠,٤٨	١٠,٧٠٠	١,٤٥	٧,٨	٢٨	٥,٩٥٠	٧٥٠	١,٧٣٠	٥٤٠	٨٥٠
Black	٠,٥٢	٧,٩٠٠	١,٣٣	١٢,٨	٤٨	٣,٢٧٠	٦٠٠	١,١٣٠	٧٢٠	٨٤٠
	٠,٥٧	١٣,٣٠٠	١,٦٢	١٢,٥	٤٠	٦,٦٨٠	١,٠٠٢	١,٨٢٠	٦٧٠	١,١٨
Red	٠,٤٩	٧,٧٠٠	١,٣٩	١١,٤	٣٢	٣,٢٨٠	٤٠٠	١,١٥٠	—	٧٠٠
	٠,٥٤	١٣,٤٠٠	١,٦٤	١٢,٥	٣٢	٦,٥٤٠	١,٠٠٠	١,٨٥٠	—	٩٥٠
Silver	٠,٤٤	٥,٨٠٠	٠,٩٤	١١,٠	٢٩	٢,٤٩٠	٣٧	١,٠٥٠	٥٦٠	٥٩٠
	٠,٤٧	٨,٩٠٠	١,١٤	٨,٣	٢٥	٥,٢٢٠	٧٤٠	١,٤٨٠	٥٠٠	٧٠٠
Sugar	٠,٥٦	٩,٤٠٠	١,٥٥	١٣,٣	٤٠	٤,٠٢٠	٦٤٠	١,٤٦٠	—	٩٧٠
	٠,٦٣	١٥,٨٠٠	١,٨٣	١٦,٥	٣٩	٧,٨٣٠	١,٤٧٠	٢,٣٣٠	—	١,٤٥٠
Oak, red:	٠,٥٦	٨,٢٠٠	١,١٨	١٢,٢	٤٠	٣,٤٧٠	٧١٠	١,٢٢٠	—	١,٠٦٠
Black	٠,٦١	١٣,٩٠٠	١,٦٤	١٣,٧	٤١	٦,٥٢٠	٩٣٠	١,٩١٠	—	١,٢١٠
Cherrybark	٠,٦١	١٠,٨٠٠	١,٧٩	١٤,٧	٥٤	٤,٦٢٠	٧٦٠	١,٣٢٠	٨٠٠	١ر٢٤٠
	٠,٦٨	١٨,١٠٠	٢,٢٨	١٨,٣	٤٩	٨,٧٤٠	١,٢٥٠	٢,٠٠٠	٨٤٠	١,٤٨٠

تابع الملحق الثاني.

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Oak, red:	٠,٥٦	٧,٩٠٠	١,٣٩	١١,٢	٣٩	٣,١٧٠	٥٧٠	١,١٨٠	٧٧٠	١,٠٠٠
Laurel	٠,٦٣	١٢,٦٠٠	١,٦٩	١١,٨	٣٩	٦,٩٨٠	١,٠٦٠	١,٨٣٠	٧٩٠	١,٢١٠
Northern red	٠,٥٦	٨,٣٠٠	١,٣٥	١٣,٢	٤٤	٣,٤٤٠	٦١٠	١,٢١٠	٧٥٠	١,٠٠٠
	٠,٦٣	١٤,٣٠٠	١,٨٢	١٤,٥	٤٣	٦,٧٦٠	١,٠١٠	١,٧٨٠	٨٠	١,٢٩٠
Pin	٠,٥٨	٨,٣٠٠	١,٣٢	١٤	٤٨	٣,٦٨	٧٢٠	١,٢٩٠	٨٠٠	١,٠٧٠
	٠,٦٣	١٤,٠٠	١,٧٣	١٤,٨	٤٥	٦,٨٢	١,٠٢٠	٢,٠٨٠	١,٠٥٠	١,٥١٠
Scarlet	٠,٦٠	١٠,٤٠٠	١,٤٨	١٥,٠	٥٤	٤,٠٩	٨٣٠	١,٤١٠	٧٠٠	١,٢٠٠
	٠,٦٧	١٧,٤٠٠	١,٩١	٢٠,٥	٥٣	٨,٣٣	١,١٢٠	١,٨٩٠	٨٧٠	١,٤٠٠
Southern red	٠,٥٢	٦,٩٠٠	١,١٤	٨	٢٩	٣,٠٣	٥٥٠	٩٣٠	٤٨٠	٨٦٠
	٠,٥٩	١٠,٩٠٠	١,٤٩	٩,٤	٢٦	٦,٠٩	١,٨٧٠	١,٣٩٠	٥١٠	١,٠٦٠
Water	٠,٥٦	٨,٩٠٠	١,٥٥	١١,١	٣٩	٣,٧٤	٦٢٠	١,٢٤٠	٨٢٠	١,٠١٠
	٠,٦٣	١٥,٤٠٠	٢,٠٢	٢١,٥	٤٤	٦,٧٧	١,٠٢٠	٢,٠٢٠	٩٢٠	١,١٩٠
Willow	٠,٥٦	٧,٤٠٠	١,٢٩	٨,٨	٣٥	٣,٠	٦١٠	١,١٨٠	٧٦٠	٩٨٠
	٠,٦٩	١٤,٥٠٠	١,٩	١٤,٦	٤٢	٧,٠٤	١,١٣٠	١,٦٥٠	—	١,٤٦٠

تابع الملحق الثاني .

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهـد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصـلادة - الحمل العمودي على الألياف
Oak, white:	٠,٥٨	٧,٢٠٠	٠,٨٨	١٠,٧	٤٤	٣,٢٩٠	٦٨٠	١,٣٥٠	٨٠٠	١,١١٠
Bur	٠,٦٤	١٠,٣٠٠	١,٠٣	٩,٨	٢٩	٦,٠٦٠	١,٢٠٠	١,٨٢٠	٦٨٠	١,٣٧٠
Chestnut	٠,٥٧	٨,٠٠٠	١,٣٧	٩,٤	٣٥	٣,٥٢٠	٥٣٠	١,٢١٠	٦٩٠	٨٩٠
	٠,٦٦	١٣,٣٠٠	١,٥٩	١١,٠	٤٠	٦,٨٣٠	٨٤٠	١,٤٩٠	—	١,١٣٠
Live	٠,٨٠	١١,٩٠٠	١,٥٨	١٢,٢	—	٥,٤٣٠	٢,٠٤٠	٢,٢١٠	—	—
	٠,٨٨	١٨,٤٠٠	١,٩٨	١٨,٩	—	٨,٩٠	٢,٨٤٠	٢,٦٦٠	—	—
Overcup	٠,٥٧	٨,٠٠٠	١,١٥	١٢,٦	٤٤	٣,٣٧٠	٥٤٠	١,٣٢٠	٧٣٠	٩٦٠
	٠,٦٣	١٢,٦٠٠	١,٤٢	١٥,٧	٣٨	٦,٢٠٠	٨١٠	٢,٠٠٠	٩٤٠	١,١٩٠
Post	٠,٦٠	٨,١٠٠	١,٠٩	١١	٤٤	٣,٤٨٠	٨٦٠	١,٢٨٠	٧٩٠	١,١٣٠
	٠,٦٧	١٣,٢٠٠	١,٥١	١٣,٢	٤٦	٦,٦٠٠	١,٤٣٠	١,٨٤٠	٧٨٠	١,٣٦٠
Swamp chestnut	٠,٦٠	٨,٥٠٠	١,٣٥	١٢,٨	٤٥	٣,٥٤٠	٥٧٠	١,٢٦٠	٦٧٠	١,١١٠
	٠,٦٧	١٣,٩٠٠	١,٧٧	١٢,٠	٤١	٧,٢٧٠	١,١١٠	١,٩٩٠	٦٩٠	١,٢٤٠
White	٠,٦٠	٨,٣٠٠	١,٢٥	١١,٦	٤٢	٣,٥٦٠	٦٧٠	١,٢٥٠	٧٧٠	١,٠٦٠
	٠,٦٨	١٤,٦٠٠	١,٧٨	١٤,٨	٣٧	٧,٤٤٠	١٠,٧٠	٢,٠٠٠	٨٠٠	١,٣٦٠

تابع الملحق الثاني.

الاسم الشائع للجنس C name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Sassafras	٠,٤٢	٦,٠٠٠	٠,٩١	٧,١	—	٢,٧٣٠	٣٧٠	٩٥٠	—	—
	٠,٤٦	٩,٠٠٠	١,١٢	٨,٧	—	٤,٧٦٠	٨٥٠	١,٢٤٠	—	—
Sweetgum	٠,٤٦	٧,١٠٠	١,٢٠	١٠,١	٣٦	٣,٠٤٠	٣٧٠	٩٩٠	٥٤٠	٦٠٠
	٠,٥٢	١٢,٥٠٠	١,٦٤	١١,٩	٣٢	٦,٣٢٠	٦٢٠	١,٦٠٠	٧٦٠	٨٥٠
Sycamore, American	٠,٤٦	٦,٥٠٠	١,٠٦	٧,٥	٢٦	٢,٩٢٠	٣٦٠	١,٠٠٠	٦٣٠	٦١٠
	٠,٤٩	١٠,٠٠٠	١,٤٢	٨,٥	٢٦	٥,٣٨٠	٧٠٠	١,٤٧٠	٧٢٠	٧٧٠
Tanoak	٠,٥٨	١٠,٥٠٠	١,٥٥	١٣,٤	—	٤,٦٥٠	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tupelo	٠,٤٦	٧,٠٠٠	١,٠٣	٨,٠	٣٠	٣,٠٤٠	٤٨٠	١,١٠٠	٥٧٠	٦٤٠
Black	٠,٥٠	٩,٦٠٠	١,٢٠	٦,٢	٢٢	٥,٥٢٠	٩٣٠	١,٣٤٠	٥٠٠	٨١٠
Water	٠,٤٦	٧,٣٠٠	١,٠٥	٨,٣	٣٠	٣,٣٧٠	٤٨٠	١,١٩٠	٦٠٠	٧١٠
	٠,٥٠	٩,٦٠	١,٢٦	٦,٩	٢٣	٥,٩٢٠	٨٧٠	١,٥٩٠	٧٠٠	٨٨٠
Walnut, black	٠,٥١	٩,٥٠٠	١,٤٢	١٤,٦	٣٧	٤,٣٠٠	٤٩٠	١,٢٢٠	٥٧٠	٩٠٠
	٠,٥٥	١,٤٦٠٠	١,٦٨	١٠,٧	٣٤	٧,٥٨٠	١,٠١٠	١,٣٧٠	٦٩٠	١,٠١٠

تابع الملحق الثاني. الخواص الميكانيكية لبعض الأخشاب المهمة النامية في الولايات المتحدة. (عن: Wood ٢٢ " "..l., 1974)

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي			انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
		معامل الكسر	معامل المرونة	الشغل حتى الحمل الأقصى						
Willow, black	٠,٣٦	٤,٨٠٠	٠,٧٩	١١,٠	—	٢,٠٤٠	١٨٠	٦٨٠	—	—
	٠,٣٩	٧,٨٠٠	١,٠١	٨,٨	—	٤,١٠٠	٤٣٠	١,٢٥٠	—	—
Yallow-poplar	٠,٤٠	٦,٠٠٠	١,٢٢	٧,٥	٢٦	٢,٦٦٠	٢٧٠	٧٩٠	٥١٠	٤٠٠
	٠,٤٢	١٠,١٠٠	١,٥٨	٨,٨	٢٤	٥,٥٤٠	٥٠٠	١,١٩٠	٥٤٠	٥٤٠
ثانيًا: أخشاب المخروطيات										
Baldcypress	٠,٤٢	٦,٦٠٠	١,١٨	٦,٦	٢٥	٣,٥٨٠	٤٠٠	٨١٠	٣٠٠	٣٩٠
	٠,٤٦	١٠,٦٠٠	١,٤٤	٨,٢	٢٤	٦,٣٦٠	٧٣٠	١,٠٠٠	٢٧	٥١٠
Cedar:	٠,٤٢	٦,٤٠٠	١,١٤	٩,٢	٢٧	٣,٠٥٠	٣٥٠	٨٤٠	٣٣٠	٤٤٠
Alaska	٠,٤٤	١١,١٠٠	١,٤٢	١٠,٤	٢٩	٦,٣١٠	٦٢٠	١,١٣٠	٣٦٠	٥٨٠
Atlantic white	٠,٣١	٤,٧٠٠	٠,٧٥	٥,٩	١٨	٢,٣٩٠	٢٤٠	٦٩٠	١٨٠	٢٩٠
	٠,٣٢	٦,٨٠٠	٠,٩٣	٤,١	١٣	٤,٧٠٠	٤١٠	٨٠٠	٢٢٠	٣٥٠
Eastern redcedar	٠,٤٤	٧,٠٠٠	٠,٦٥	١٥,٠	٣٥	٣,٥٧٠	٧٠٠	١,٠١٠	٣٣٠	٦٥٠
	٠,٤٧	٨,٨٠٠	٠,٨٨	٨,٣	٢٢	٦,٠٢٠	٩٢٠	—	—	٩٠٠
Incense	٠,٣٥	٦,٢٠٠	٠,٨٤	٦,٤	١٧	٣,١٥٠	٣٧٠	٨٣٠	٢٨٠	٣٩٠
	٠,٣٧	٠,٨٠٠٠	١,٠٤	٥,٤	١٧	٥,٢٠٠	٥٩٠	٨٨٠	٢٧٠	٤٧٠

تابع الملحق الثاني .

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهـد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Northern white	٠,٢٩	٤,٢٠٠	٠,٦٤	٥,٧	١٥	١,٩٩٠	٢٣٠	٦٢٠	٢٤٠	٢٣٠
	٠,٣١	٦,٥٠٠	٠,٨	٤,٨	١٢	٣,٩٦٠	٣١٠	٨٥٠	٢٤٠	٣٢٠
Port-Orford	٠,٣٩	٦,٦٠٠	١,٣	٧,٤	٢١	٣,١٤٠	٣٠٠	٨٤٠	١٨٠	٣٨٠
	٠,٤٣	١٢,٧٠٠	١,٧	٩,١	٢٨	٦,٢٥٠	٧٢٠	١,٣٧٠	٤٠٠	٦٣٠
Western redcedar	٠,٣١	٥,٢٠٠	٠,٩٤	٥,٠	١٧	٢,٧٧٠	٢٤٠	٧٧٠	٢٣٠	٢٦٠
	٠,٣٢	٧,٥٠٠	١,١١	٥,٨	١٧	٤,٥٦٠	٤٦٠	٩٩٠	٢٢٠	٣٥٠
Douglas-fir':	٠,٤٥	٧,٧٠٠	١,٥٦	٧,٦	٢٦	٣,٧٨٠	٣٨٠	٩٠٠	٣٠٠	٥٠٠
Coast	٠,٤٨	١٢,٤٠٠	١,٩٥	٩,٩	٣١	٧,٢٤٠	٨٠٠	١,١٣٠	٣٤٠	٧١٠
Interior West	٠,٤٦	٧,٧٠٠	١,٥١	٧,٢	٢٦	٣,٨٧٠	٤٢٠	٩٤٠	٢٩٠	٥١٠
	٠,٥	١٢,٦٠٠	١,٨٢	١٠,٦	٣٢	٧,٤٤٠	٧٦٠	١,٢٩٠	٣٥٠	٦٦٠
Interior North	٠,٤٥	٧,٤٠٠	١,٤١	٨,١	٢٢	٣,٤٧٠	٣٦٠	٩٥٠	٣٤٠	٤٢٠
	٠,٤٨	١٣,١٠٠	١,٧٩	١٠,٥	٢٦	٦,٩٠٠	٧٧٠	١,٤٠٠	٣٩٠	٦٠٠
Interior South	٠,٤٣	٦,٨٠٠	١,١٦	٨,٠	١٥	٣,١١٠	٣٤٠	٩٥٠	٢٥٠	٣٦٠
	٠,٤٦	١١,٩٠٠	١,٤٩	٩,٠	٢٠	٦,٢٢٠	٧٤٠	١,٥١٠	٣٣٠	٥١٠

تابع الملحق الثاني .

الاسم الشائع للجنس name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهـد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Fir:	٠,٣٤	٤,٩٠٠	٠,٩٦	٤,٧	١٦	٢,٤٠٠	١٧٠	٦١٠	١٨٠	٢٩٠
Balsam	٠,٣٦	٧,٦٠٠	١,٢٣	٥,١	٢٠	٤,٥٣٠	٣٠٠	٧١٠	١٨٠	٤٠٠
Californis red	٠,٣٦	٥,٨٠٠	١,١٧	٦,٤	٢١	٢,٧٦	٣٣٠	٧٧٠	٣٨٠	٣٦٠
	٠,٣٨	١٠,٤٠٠	١,٤٩	٨,٩	٢٤	٥,٤٧٠	٦١٠	١,٠٥٠	٣٩٠	٥٠٠
Grand	٠,٣٥	٥,٨٠٠	١,٢٥	٥,٦	٢٢	٢,٩٤٠	٢٧٠	٧٤٠	٢٤٠	٣٦٠
	٠,٣٧	٨,٨٠٠	١,٥٧	٧,٥	٢٨	٥,٢٩٠	٥٠٠	٩١٠	٢٤٠	٤٩٠
Noble	٠,٣٧	٦,٢٠٠	١,٣٨	٦,٠	١٩	٣,٠١٠	٢٧٠	٨٠٠	٢٣٠	٢٩٠
	٠,٣٩	١٠,٧٠٠	١,٧٢	٨,٨	٢٣	٦,١٠٠	٥٢٠	١,٠٥٠	٢٢٠	٤١٠
Pacific silver	٠,٤٠	٦,٤٠٠	١,٤٢	٦,٠	٢١	٣,١٤٠	٢٢٠	٧٥٠	٢٤٠	٣١٠
	٠,٤٣	١٠,٦٠٠	١,٧٢	٩,٣	٢٤	٦,٥٣٠	٤٥٠	١,١٨٠	—	٤٣٠
Subalpine	٠,٣١	٤,٩٠٠	١,٠٥	—	—	٢,٣٠٠	١٩٠	٧٠٠	—	٢٦٠
	٠,٣٢	٨,٦٠٠	١,٢٩	—	—	٤,٨٦٠	٣٩٠	١,٠٧٠	—	٣٥٠
White	٠,٣٧	٥,٩٠٠	١,١٦	٥,٦	٢٢	٢,٩٠٠	٢٨٠	٧٦٠	٣٠٠	٣٤٠
	٠,٣٩	٩,٨٠٠	١,٤٩	٧,٢	٢٠	٥,٨١٠	٥٣٠	١,١٠٠	٣٠٠	٤٨٠

تابع الملحق الثاني.

الاسم الشائع للجنس name of specie C	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Homlock:	٠,٣٨	٦,٤٠٠	١,٠٧	٦,٧	٢١	٣,٠٨٠	٣٦٠	٨٥٠	٢٣٠	٤٠٠
Eastern	٠,٤	٨,٩٠٠	١,٢٠	٦,٨	٢١	٥,٤١٠	٦٥٠	١,٠٦٠	—	٥٠٠
Mountain	٠,٤٢	٦,٣٠٠	١,٠٤	١١,٠	٣٢	٢,٨٨	٣٧٠	٩٣٠	٣٣٠	٤٧٠
	٠,٤٥	١١,٥٠٠	١,٣٣	١٠,٤	٣٢	٦,٤٤	٨٦٠	١,٥٤٠	—	٦٨٠
Western	٠,٤٢	٦,٦٠٠	١,٣١	٦,٩	٢٢	٣,٣٦٠	٢٨٠	٨٦٠	٢٩٠	٤١٠
	٠,٤٥	١١,٣٠٠	١,٦٤	٨,٣	٢٣	٧,١١٠	٥٥٠	١,٢٥٠	٣٤٠	٥٤٠
Larch, Western	٠,٤٨	٤,٩٠٠	٠,٩٦	١٠,٣	٢٩	٣,٧٦٠	٤٠٠	٨٧٠	٣٣٠	٥١٠
	٠,٥٢	١٣,١٠٠	١,٨٧	١٢,٦	٣٥	٧,٦٤٠	٩٣٠	١,٣٦٠	٤٣٠	٨٣٠
Pine:	٠,٣٤	٤,٩٠٠	٠,٩٩	٥,٢	١٧	٢,٤٤٠	٢٢٠	٦٨٠	٢٥٠	٢٩٠
Eastern white	٠,٣٥	٨,٦٠٠	١,٢٤	٦,٨	١٨	٤,٨٠٠	٤٤٠	٩٠٠	٣١٠	٣٨٠
Jack	٠,٤٠	٦,٠٠٠	١,٠٧	٧,٢	٢٦	٢,٩٥٠	٣٠٠	٧٥٠	٣٦٠	٤٠٠
	٠,٤٣	٩,٩٠٠	١,٣٥	٨,٣	٢٧	٥,٦٦٠	٥٨٠	١,١٧٠	٤٢٠	٥٧٠
Loblolly	٠,٤٧	٧,٣٠٠	١,٤٠	٨,٢	٣٠	٣,٥١٠	٣٩٠	٨٦٠	٢٦٠	٤٥٠
	٠,٥١	١٢,٣٠٠	١,٧٩	١٠,٤	٣٠	٧,١٣٠	٧٩٠	١,٣٩٠	٤٧٠	٦٩٠

تابع الملحق الثاني.

الاسم الشائع للجنس C name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهــد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة - الحمل العمودي على الألياف
Lodgepole	٠,٣٨	٥,٥٠٠	١,٠٨	٥,٦	٢٠	٢,٦١٠	٢٥٠	٦٨٠	٢٢٠	٣٣٠
	٠,٤١	٩,٤٠٠	١,٣٤	٦,٨	٢٠	٥,٣٧٠	٦١٠	٨٨٠	٢٩٠	٤٨٠
Longleaf	٠,٥٤	٨,٥٠٠	١,٥٩	٨,٩	٣٥	٤,٣٢٠	٤٨٠	١,٠٤٠	٣٣٠	٥٩٠
	٠,٥٩	١٤,٥٠٠	١,٩٨	١١,٨	٣٤	٨,٤٧٠	٩٦٠	١,٥١٠	٤٧٠	٨٧٠
Pitch	٠,٤٧	٦,٨٠٠	١,٢٠	٩,٢	—	٢,٩٥٠	—	٨٦٠	—	—
	٠,٥٢	١٠,٨٠٠	١,٤٣	٩,٢	—	٥,٩٤٠	—	١,٣٦٠	—	—
Pond	٠,٥١	٧,٤٠٠	١,٢٨	٧,٥	—	٣,٦٦٠	٤٤٠	٩٤٠	—	—
	٠,٥٦	١١,٦٠٠	١,٧٥	٨,٦	—	٧,٥٤٠	٩١٠	١,٣٨٠	—	—
Ponderosa	٠,٣٨	٥,١٠٠	١,٠٠	٥,٢	٢١	٢,٤٥٠	٢٨٠	٧٠٠	٣١٠	٣٢٠
	٠,٤٠	٩,٤٠٠	١,٢٩	٧,١	١٩	٥,٣٢٠	٥٨٠	١,١٣٠	٤٢٠	٤٦٠
Red	٠,٤١	٥,٨٠٠	١,٢٨	٦,١	٢٦	٢,٧٣٠	٢٦٠	٦٩٠	٣٠٠	٣٦٠
	٠,٤٦	١١,٠٠٠	١,٦٣	٩,٩	٢٦	٦,٠٧٠	٦٠٠	١,٢١٠	٤٦٠	٥٦٠
Sand	٠,٤٦	٧,٥٠٠	١,٠٢٠	٩,٦	—	٣,٤٤٠	٤٥٠	١,٤١٠	—	—
	٠,٤٨	١١,٦٠٠	١,٤١	٩,٦	—	٦,٩٢٠	٨٣٦	—	—	—

تابع الملحق الثاني.

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة ـ الحمل العمودي على الألياف
Shortleaf	٠,٤٧	٧,٤٠٠	١,٣٩	٨,٢	٣٠	٣,٥٣٠	٣٥٠	٩١٠	٣٢٠	٤٤٠
	٠,٥١	١٣,١٠٠	١,٧٥	١١,٠	٣٣	٧,٢٧٠	٨٢٠	١,٣٩٠	٤٧٠	٦٩٠
Slash	٠,٥٤	٨,٧٠٠	١,٥٣	٩,٦	—	٣,٨٢٠	٥٣٠	٩٦٠	—	—
	٠,٥٩	١٦,٣٠٠	١,٩٨	١٣,٢	—	٨,١٤٠	١,٠٢٠	١,٦٨٠	—	—
Spruce	٠,٤١	٦,٠٠٠	١,٠٠	—	—	٢,٨٤٠	٢٨٠	٩٠٠	—	٤٥٠
	٠,٤٤	١٠,٤٠٠	١,٢٣	—	—	٥,٦٥٠	٧٣٠	١,٤٩٠	—	٦٦٠
Sugar	٠,٣٤	٤,٩٠٠	١,٠٣	٥,٤	١٧	٢,٤٦٠	٢١٠	٧٢٠	٢٧٠	٢٧٠
	٠,٣٦	٨,٢٠٠	١,١٩	٥,٥	١٨	٤,٤٦٠	٥٠٠	١,١٣٠	٣٥٠	٣٨٠
Virginia	٠,٤٥	٧,٣٠٠	١,٢٢	١٠,٩	٣٤	٣,٤٢٠	٣٩٠	٨٩٠	٤٠٠	٥٤٠
	٠,٤٨	١٣,٠٠٠	١,٥٢	١٣,٧	٣٢	٦,٧١٠	٩١٠	١,٣٥٠	٣٨٠	٧٤٠
Western white	٠,٣٥	٤,٧٠٠	١,١٩	٥,٠	١٩	٢,٤٣٠	١٩٠	٦٨٠	٢٦٠	٢٦٠
	٠,٣٨	٩,٧٠٠	١,٤٦	٨,٨	٢٣	٥,٠٤٠	٤٧٠	١,٠٤٠	—	٤٢٠
Redwood:	٠,٣٨	٧,٥٠٠	١,١٨	٧,٤	٢١	٤,٢٠٠	٤٢٠	٨٠٠	٢٦٠	٤١٠
Old-growth	٠,٤٠	١٠,٠٠٠	١,٣٤	٦,٩	١٩	٦,١٥٠	٧٠٠	٩٤٠	٢٤٠	٤٨٠

تابع الملحق الثاني .

الاسم الشائع للجنس Common name of specie	الثقل النوعي	الانحناء الاستاتيكي: معامل الكسر	الانحناء الاستاتيكي: معامل المرونة	الانحناء الاستاتيكي: الشغل حتى الحمل الأقصى	انحناء الصدم ارتفاع الاسقاط اللازم للانهيار	الانضغاط الموازي للألياف قوة التهشم القصوى	الانضغاط العمودي على الألياف جهــد الألياف عند حد التناسب	القص الموازي للألياف قوة القص القصوى	الشد العمودي على الألياف قوة الشد القصوى	الصلادة الحمل العمودي على الألياف
Young-growth	٠,٣٤	٥,٩٠٠	٠,٩٦	٥,٧	١٦	٣,١١٠	٢٧٠	٨٩٠	٣٠٠	٣٥٠
	٠,٣٥	٧,٩٠٠	١,١٠	٥,٢	١٥	٥,٢٢٠	٥٢٠	١,١١٠	٢٥٠	٤٢٠
Spruce:	٠,٣٨	٥,٤٠٠	١,١٠٦	٧,٤	٢٤	٢,٥٧٠	١٤٠	٦٦٠	١٠٠	٣٧٠
Black	٠,٤٠	١٠,٣٠٠	١,٥٣	١٠,٥	٢٣	٥,٣٢٠	٥٣٠	١,٠٣٠	—	٥٢٠
Englelmann	٠,٣٣	٤,٧٠٠	١,٠٣	٥,١	١٦	٢,١٨٠	٢٠٠	٦٤٠	٢٤٠	٢٦٠
	٠,٣٥	٩,٣٠٠	١,٣٠	٦,٤	١٨	٤,٤٨٠	٤١٠	١,٢٠٠	٣٥٠	٣٩٠
Red	٠,٣٨	٥,٨٠٠	١,١٩	٦,٩	١٨	٢,٦٥٠	٢٨٠	٧٦٠	٢٢٠	٣٥٠
	٠,٤١	١٠,٢٠٠	١,٥٢	٨,٤	٢٥	٥,٨٩٠	٤٧٠	١,٠٨٠	٣٥٠	٤٩٠
Sitka	٠,٣٧	٥,٧٠٠	١,٢٣	٦,٣	٢٤	٢,٦٧٠	٢٨٠	٧٦٠	٢٥٠	٣٥٠
	٠,٤٠	١٠,٢٠٠	١,٥٧	٩,٤	٢٥	٥,٦١٠	٥٨٠	١,١٥٠	٣٧٠	٥١٠
White	٠,٣٧	٥,٦٠٠	١,٠٧	٦,٠	٢٢	٢,٥٧٠	٢٤٠	٦٩٠	٢٢٠	٣٢٠
	٠,٤٠	٩,٨٠٠	١,٣٤	٧,٧	٢٠	٥,٤٧٠	٤٦٠	١,٠٨٠	٣٦٠	٤٨٠
Tamarack	٠,٤٩	٧,٢٠٠	١,٢٤	٧,٢	٢٨	٣,٤٨٠	٣٩٠	٨٦٠	٢٦٠	٣٨٠
	٠,٥٣	١١,٦٠٠	١,٦٤	٧,١	٢٣	٧,١٦٠	٨٠٠	١,٢٨٠	٤٠٠	٥٩٠

ثبت المصطلحات

A

Term	المصطلح
Abrasion	مقاومة الاحتكاك
Acer	أشجار القيقب
Acetyl bromide	بيروميد الاسيتايل
Acetyl groups	مجاميع اسيتايل
Acid hydrolysis	التحلل المائي الحامضي
Acidic xylan	زيلان حامضي
Acomycetes fungi	فطريـات زقية
Adsorption phenomenon	ظاهرة الادمصاص
Aggrigate	متراكمة
Aliform	جناحية
Amorphous	أمورفية
Angiosperms	مغطاة البذور
Anhydro-sugars	سكريات اندريدية
Annual growth rings	حلقات النمو السنوية
Antiparallel chains	سلاسل متعاكسة
Apical	قميـة
Apotracheal	مرتبطة بالأوعية
Apposition	تراكـم
Auxin	هرمون نباتي
Average molecular weight	متوسط الوزن الجزئي
Axial Parenchyma	بارنشيما محورية

B

Term	المصطلح
Bandad	في شرائط
Bark pockets	جيوب القلف
Basic specific gravity	الثقل النوعي الأساسي
Benzyl alcohol	كحول بنزايل
Beta- cellulose	سيلولوز بيتا
Biochemical deterioration	التحليل الكيمو حيوي
Biodegradation of wood	التحليل الحيوي للخشب
Biosynthesis	التخليق الحيوي
Border	ضفـة
Border pits	نقر مضفوفة

Boxed- heart split	تشققات القلب
Brashness	هشاشيـــة
Brick shape	الشكل القالبي
Brittle	هـــش
Brown- rot fungi	فطريات العطب البني



Cambial initials	بوادىء كامبيومية
Casehardening	القشرة المتصلبة
Cell enlargement	كبر الحجم الخلوي
Cell- free systems	الأنظمة حرة الخلايا
Cell lumen	الفراغ الخلوي ـ الفجوة الخلوية
Cellulose	سيلولـــوز
Cell wall	جدار الخلية
Cell wall sculpturing	الأشكال المنحوتة بالجدار الخلوي
Cell wall structure	تركيب جدار الخلية
Chemical composition	التركيب الكيميائي
Chemical constituents	المكونات الكيميائية
Chemical nature	الطبيعة الكيميائية
Chipped grain	الألياف الممزقة
Chestnut	أشجار أبو فروة
Cinnamomum camphora	أشجار القرفة
Cleavage	الانشـــقاق
Cohesive energy	طاقة اللصـــق
Colour	لـــون
Compression failures	الانهيارات الانضغاطية
Compression wood	خشب الانضغاط
Condensed	متكثفـــة
Coniferyl alcohol	كحول الكونيفريل
Conifors	المخروطيـات
Corpus	البـــدن
Cortex	القشـــرة
Creep	زحـــف
Cross	عرضـــي
Crushing strength	مقاومة الانسحاق
Crustacean borers	نخارات قشرية
Crystalline	بلوريـــة
Crystals	بلورات
Curly grain	ترتيب مجعد للألياف
Cytoplasmic organelles	تراكيب سيتوبلازمية



Dentated	مسننة من الداخل
Dentate ray tracheids	تسنين الأشعة القصبية
Destractive	مدمـــرة
Development	تكشـــف
Diffuse	منتشـــر
Diffuse porous	مسامية منتشرة
Diffusion phenomenon	ظاهرة الانتشار
Dimers	ثنائيات تبلمر
Dimethyl sulfoxide	داي ميثايل سلفوكسيد
Diterpines	ثنائي التربين
Dome	قبة نقرية
Durability	المقاومة للتحلل



Early wood	الخشب المبكر
Eastern red cedar	السيدر الأحمر الشرقي

English	العربية
Ebony	خشب الأبنوس
Elastic	مـــرن
Elasticity	المرونـــة
Elastic resiliance	الشغل عند حد التناسب
Electron diffraction	التشتت الاليكتروني
Elementary fibrils	الفبرلات الأولية
Ellagic acid	حامض إيلاجيك
Endwise polymerization	بلمرة نهايات
End- wise synthesis	تخليق حيوي عند النهايات
Epithelial cells	خلايا إفرازية (طلائية)
Extractive- free wood	خشب خالٍ من المستخلصات
Extractives	المستخلصات



English	العربية
Fan shape	مروحيةالشكل
Fenestriform	نافذيـــة
Fibers	أليـــاف
Fiber saturation point	نقطة تشبع الألياف
Fiber tracheids	ألياف قصيبية
Flavonoides	الفلافونـــات
Free molecules	جزئيات حرة
Free water	الماء الحر
Frost	صقيـــع
Fungi	فطريـــات
Fungi imperfecti	الفطريات الناقصة
Fuzzy grain	الألياف الوبرية



English	العربية
Galactose	الجلاكتـــوز
Gallic acid	حامض الجاليك
Gamma- cellulose	سيلولوز جامـا
Gelatinous layer	الطبقة الجيلاتينية
Glucomannan	جلوكومانان
Glucose	الجلوكوز
Glucosidic bonds	روابط جلوكوسيدية
Golgi bodies	أجسام جولجي
Green volume	الحجم الأخضر
Growing points	نقط النمو
Growth	نمـــو
Growth promoting hormones	الهرمونات المشجعة للنمو
Growth stresses	إجهادات النمو
Guacyl unit	وحدة جواياسيل
Gum deposities	رواسب صمغية
Gums	صمـــوغ
Gymnosperms	معراة البذور



English	العربية
Hard pines	الصنوبريات الصلدة
Hard woods	الاخشاب الصلدة
Heart wood	خشب قلب
Heat of wetting	حرارة الترطيب
Hemicellulose	هيمي سيليولوز
Heterocellular	مختلطة النوع الخلوي
Heteropolymer	بولمر مختلط التركيب
Homocellular	متجانسة النوع الخلوي
Homopolymer	بوليمر متجانس التركيب
Honey combing	انهيار عش النمل
Horizotal	أفقـــي

Hormonal stimulus — حافز هرموني
House long horn bettles — الخنافس ذات قرون الاستشعار الطويلة
Hydrolysis — تحلل مائي
Hydrolyzable — قابلة للتحلل

I

ICC — معقد اللجنين والكربوهيدرات
Impact test — اختبار مقاومة الصدم
Imperforate tapered ends — نهايات غير مثقبة مدببة
Included sapwood — خشب العصارة المحتوي
Indole Acetic Acid (IAA) — أندول حامض الخليك
Injuries — إصابـــات
Inorganic contants — المكونات غير العضوية
Inter and interamolecular — بين جزئية وغير جزئية
Interlocked grain — ترتيب متقاطع للألياف
Intrasive growth — النمو المتراكب

J

Juglans nigra — الجوز الأمريكي
Juniperus procera — خشب العرعر
Juvenile wood — خشب حديث التكوين

K

Khaya — الكايا ـ الماهوجني
Kino — كينـــو

L

Larix — أشجار اللارش
Laster — لمعان الخشب
Late wood — الخشب المتأخر
Layer — طبقـــة
Libriform fibers — ألياف شفهية
Lightining — الصواعـــق
Light scattering — الانتشار الضوئي
Lignans — اللجنـــان
Lignification — لجننـــة
Lingnin — لجنيـــن
Lignin monomers — الوحدة البنائية للجنين
Lignin precursors — بواديء اللجنة
Lignum vitae — الخشب الحديدي
Linear polymer — بوليمر استقامي
Loosened grain — الألياف السائبة
Long initials — بواديء طويلة
Low temperature — منخفض الحرارة
Lyctus — الليكتس

M

Mannose — سكر المانوز
Mansonia altissima — المانسونيا الاستوائية
Margo — الخيوط التي تربط السرة بجدار النقرة
Marine borers — النخارات البحرية
Mature wood — الخشب الناضج
Maturity — النضج
Mechanical behaviour — السلوك الميكانيكي
Meristematic — ميرستمية
Microfibrils — الميكروفبرلات السيلولوزية

الصفيحة الوسطى Middle lamella
معامل المرونة Modulus of elasticity
معامل التصلب Modulus of rigidity
معامل الكسر Modulus of rupture
أجهزة قياس الرطوبة Moisture meters
نخارات رخوة Molluscan borers
وحيدة الانتشارية Monodisperss
وحدة تكوين البوليمر Monomer
أحادي التربين Monoterpines
خلية أمية Mother cell
عديد الصفوف الخلوية Multiseriate

N

نيـــترة Nitration
اختبارات غير مدمرة Nondestructive testing
غير مرتبـــة Nonstratified

O

خشب القدو Oak
مائـــل Oblique
رائحـــة Odour
Oven- dry weight
الوزن بعد التجفيف في الفرن

P

مرافقة للأوعية Paratracheal
أنمـــاط Pattans
تثقيــــب Perforation
دائمـــة Permanent
نفاذيـــة Permeability
أنزيم البيروكسيداز Peroxidase
فينـــولات Phenols
أصول فينوكسيل Phenoxyl radicals
لحـــاء Phloem
مادة التمثيل الضوئي Photosynthates
الأسبروس Picea
معامل البيزوكهربية piezoelectric modulus
العائلة الصنوبرية Pinaceae
ثقوب دبوسية Pinholes
صنوبرية Pinoid
فينولات البينوسلفين Pinosylvin phenoles
خشب السويد Pinus silvestris
حالة انسداد النقرة المضفوفة Pit aspiration
نقـــر Pits
بلازماليما Plasmalemma
غشاء البلازما Plasma membrane
اللدونـــة Plasticity
الدلب ـ السيكامور Platanus occidentalis
Polarized infrared
الأشعة تحت الحمراء البلورية
الانتشار المتعدد Polydispersity
بوليمرية Polymeric
خشب الحور Poplar
ثقـــوب Pores
ما بعد التكشف الكامبيومي Post cambial
خنافس المساحيق Powder- post bettles
معامل القدرة Power factor
زاوية فقد القدرة Power loss angle
بريديرم Preiderm
ابتدائــــي Primary

Primary wall	الجدار الابتدائي
Procumbent cells	خلايا ممتدة قطريًا
Promeristems	ميرستيمات أولية
Proportional limit	حـد التناسب
Prosenchymatous	بروزنشيمية
Pseudotsuga	الدوجلاس فير
Pulp wood	لب الخشب

Q

Quinones	الكيـــونون

R

Radial	قطـــري
Radical coupling	ازدواج الأصول
Ramie	الرامي (من محاصيل الألياف)
Ray initials	بوادىء أشعة
Ray parenchyma	بارانشيما الأشعة
Ray tracheids	قصيبات شعاعية
Reaction wood	خشب الشد
Reducing end groups	المجاميع الطرفية المختزلة
Relative molecular mass	الكتلة الجزيئية النسبية
Resins	راتنجـــات
Resin canals	قنوات راتنجية
Resonant frequency	التردد الطبيعي
Ring failures	انهيارات حلقية
Ring porous	مسامية حلقية
Robinia pseudoacacia	خشب السنط الكاذب
Root	جــــذر
Russel effect	تأثيـر راسل

S

Sandal oil	زيت الصندل
Santalum lanceolatum	خشب الصندل
Sapwood	خشب عصاري
Scanty	متناثرة
Seasoning defects	عيوب التجفيف
Secondary	ثانويـــة
Secondary thickening	تغليظ ثانوي
Secondary wall	الجدار الثانوي
Sedimentation equilibrium	الترسيب الاتزاني
Semi-bordered pits	نقر نصف مضفوفة
Sequoia	السيكوايا ـ الخشب الأحمر
Shakes	تشققات
Shearing strength	قوة القــص
Soft pines	صنوبريات لينة
Soft rot	العطب الطري
Soft woods	أخشاب لينة (ناتجة من المخروطيات)
Sorption hysteresis	تخلف الادمصاص
Specific gravity	الثقل النوعي
Spiral thickening	تغليظ حلزوني
Spring wood	خشب الربيع
Stiff	صلـــب
Stiffness	الصلابـــة
Straight grain	ترتيب خطي للألياف
Strain	انفعـــال
Strand tracheids	قصيبات متراكبة
Stress	جهـــد
Stress grading	تدريج الخشب على أساس الجهود
Subelementary fibrils	الفبرلات تحت الأولية

Sub-units	تحت وحدات
Sugar neucleotides	نيوكليدات السكر
Supermolecular	الانتشار المتعدد
Surface bound water	الماء المرتبط بالسطح
Syrngyl unit	وحدة سيرانجيل



Tangential	مماســـي
Tannins	التانيـــنات
Tectona grandis	خشب التيـك
Tensile strength	قـــوة الشد
Tension wood	خشب الشد
Terminal	حافيـــة
Termites	النمل الأبيض
Terpenoides	تربينيدات
Terpines	تربينـــات
Testing	اختيــــار
Theory	نظريـــة
Thermodinamically	الديناميكية الحرارية
Thickening	تغليـــظ
Thieghemella	المكوري الأفريقي
Tilia	خشب التليـــا
Timber	خشـــب
Toluene	التلويــــن
Tonoplast	تونوبلاســـت
Torsional	التوائــــي
Torus	ســــرة
Total deflection	الترخيم الكلي
Toughness test	اختبار الصلابة
Transmission	بث حراري
Triterpines	ثلاثي التربين
Trunk	الساق أو الجذوع
Tunica	القشـــرة
Tunica- corpus theory	نظرية القشرة والبدن
Tyloses	تيـــلوزات



Ulmus americana	الألم الأمريكي
Ultracenterfugation	الطرد المركزي العالي
Uniseriate	وحيدة الصف
Unit cell	الوحدة البنائية
Upright cells	خلايا رأسية



Vanillin	فانيليـــا
Variation	اختلاف ـ تباين
Vascular	وعائـــي
Vascular cambium	الكامبيوم الوعائي
Vertical	رأســـي
Vessels	أوعيـــة
Vestires	أهـــداب
Viscoelastic	سلوك لزن
Void volume	الحجم الفراغي
Volatil wood oil	زيت الخشب المتطاير



Walnut	خشـــب الجـــوز
Warp	تشوهات الالتواء
Warty structures	تراكيب ثألولية
Warty wall	*الجدار والمتثالل*

الماء التكويني	Water of constitution
موجـــات	Waves
السنديان الأبيض	White oak
نافذيـــة	Window like
التركيب التشريحي للخشب	Wood anatomy
الحشرات التي تصيب الأخشاب	Wood- boring insects
كثافة الخشـب	Wood density
الفطريات المدمرة للأخشاب	Wood destroying fungi
ثابت الأزدواج الكهربائي للخشب	Wood dielectric constant
المستخلصات الخشبية	Wood extractives
تكوين الأخشاب	Wood formation
ترتيب ألياف الخشب	Wood grain
عقد الخشب	Wood knots
نوعية الخشب	Wood quality
أشعة الخشب	Wood rays
ريولوجيا الأخشاب	Wood rheology
الفطريات الملونة للأخشاب	Wood- staining fungi
قوام الخشب	Wood texture
نسيج الخشب	Wood tissue



زيـــلان	Xylan
خشـــب	Xylem

كشاف الموضوعات





ح

خ

ر

ز

س

